

Biología de Huelva

Naturaleza, Biodiversidad, Bioindicadores y Biomarcadores

Rafael Torronteras Santiago
[Ed.]

DIPUTACIÓN DE HUELVA
uhu.es PUBLICACIONES
CÁTEDRA DE LA PROVINCIA



Biología de Huelva

Naturaleza, Biodiversidad, Bioindicadores y Biomarcadores



Biología de Huelva

Naturaleza, Biodiversidad, Bioindicadores y Biomarcadores

Rafael Torronteras Santiago [Ed.]

uhu.es PUBLICACIONES

uhu.es PUBLICACIONES
A L D I N A
67

DATOS EDICIÓN

Primera edición en formato ebook: enero 2021

I.S.B.N. (ebook): 978-84-18984-95-2

© Servicio de Publicaciones
Universidad de Huelva

© Rafael Torronteras Santiago [Ed.]

Maquetación y Ebook
Art&maña Publicitaria (artimana.com)

Esta obra se publica bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 España



Obra sometida al proceso de evaluación de calidad editorial por el sistema de revisión por pares.

Publicaciones de la Universidad de Huelva es miembro de UNE

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutivo de delito contra la propiedad intelectual.

EL EBOOK LE PERMITE


Citar el libro


Navegar por marcadores e hipervínculos


Realizar notas y búsquedas internas


Volver al índice pulsando el pie de la página


Comparte #LibrosUHU


Únete y comenta


Novedades a golpe de clik



Nuestras publicaciones en movimiento


Suscríbete a nuestras novedades

Índice

00. Prólogo
Rafael Torronteras Santiago 9

01. Las bacterias extremófilas de los ríos ácidos de Huelva
Francisco Córdoba García 17

02. Una microalga del río Tinto que aporta beneficios para la salud
Francisco J. Navarro Roldán 51

03. Síntesis de la flora de la provincia de Huelva
Adolfo F. Muñoz Rodríguez || María Dolores Infante Izquierdo || Enrique Sánchez Gullón 77

04. Vegetación general de Huelva
Pablo J. Hidalgo Fernández 115

05. Hongos: ecología y biodiversidad en ecosistemas litorales de Huelva
Francisco Javier Jiménez Nieva || Francisco de Asís Sánchez González || Cristina Caetano Sánchez 145

06. Monitorización del estrés ambiental en el medio acuático mediante la evaluación de biomarcadores inducidos por cadmio en *Carassius auratus* (Linneo, 1758)
Yoselin Roa Aravena || Antonio L. Canalejo Raya || Rafael Torronteras Santiago 187

07. Moluscos dulceacuícolas de Huelva
Juan Carlos Pérez Quintero 235

08. Anfibios y reptiles de la provincia de Huelva
Juan Pablo González de la Vega || Juan Carlos Pérez-Quintero 259

09. Ictiofauna continental onubense
José Prenda Marín 295

10. Los mamíferos en Huelva
Javier Calzada || Carlos Gutiérrez-Expósito || Jacinto Román || Juan Quetglas 335

11. Ecología del litoral onubense (I): marismas mareales
Eloy M. Castellanos Verdugo || Carlos J. Luque Palomo 379

12. Ecología del litoral onubense (II): sistemas dunares
Carlos J. Luque Palomo || Eloy M. Castellanos Verdugo 417



00

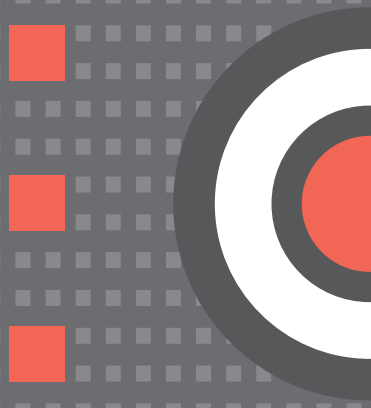
Prólogo

Rafael Torronteras Santiago

Grupo Investigación de Respuestas Celulares al Estrés Ambiental (BIO-282). Área de Biología Celular. Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales-Centro de Investigación RENSMA. Campus de Excelencia CeiMar. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España.

Dr. Rafael Torronteras Santiago || torronte@uhu.es

Tel.: +34 959 21 98 91 || Fax: +34 959 21 94 67



Prólogo

Rafael Torronteras Santiago

Este libro surge como reconocimiento y modesto homenaje a la Biología en Huelva. A esa Biología con mayúsculas que los miembros, en su mayoría biólogos, del Departamento de Biología Ambiental y Salud Pública de la Universidad de Huelva, quisieron *cultivar*, poner en valor y desarrollar con la constitución de dicho departamento y desde él. En este curso 2020/21 se han cumplido 20 años de la creación de ese querido departamento y que, desgraciadamente, fue eliminado en 2016 con motivo de las restricciones económicas impuestas por el Plan de Refinanciación de la Universidad. Dicho Plan supuso la fusión y desaparición de muchos departamentos, entre ellos el nuestro.

Para los biólogos de aquel Departamento de Biología Ambiental y Salud Pública de Huelva era importante visibilizar, de manera institucional, la importancia y el gran valor de los estudios de Biología en la provincia de Huelva y, además, hechos desde su Universidad.

La configuración del Departamento de Biología Ambiental y Salud Pública se fue fraguando desde que en 1997 (hace 25 años) empezaron a llegar a la Universidad de Huelva un grupo importante de nuevos profesores de Biología. Y ello fue posible gracias a la implantación de nuevos estudios en nuestra Universidad, como los de Ciencias Ambientales (curso 1996/97). Así se fueron contratando y se fueron formalizando plazas de profesorado universitario en 4 grandes áreas de conocimiento: en Biología Animal (Zoología), Biología Celular, Biología Vegetal (Botánica), y Ecología.

No obstante, y en honor a la verdad, hay que decir que la presencia de los estudios de Biología y de profesionales de la Biología (biólogos y biólogas) en la institución universitaria de Huelva no era nueva con la creación de este departamento, aunque sí era la primera vez que su presencia se consolidaba de manera institucional con departamento de biología, a la vez que se hacía más numerosa.

Los primeros biólogos y biólogas en los centros universitarios de Huelva estuvieron impartiendo sus conocimientos en la Escuela del Profesorado de E.G.B. de Huelva (antigua “Escuela Normal”), al principio dependiente de la Universidad de Sevilla y que se alojó en las instalaciones de lo que hoy conocemos como Campus de Cantero Cuadrado, y que son las dependencias actuales del Rectorado de la UHU. En esa Escuela Universitaria de Profesorado de E.G.B. se impartían especialidades de Ciencias Humanas, Literatura, Preescolar, Idiomas y Ciencias. Esta última especialidad incluía tres

grandes disciplinas, cada una integrada en un “Seminario” propio: “Seminario de Física y Química”, “Seminario de Matemáticas” y “Seminario de Ciencias Naturales”.

El Seminario de Seminario de Ciencias Naturales estuvo integrado originalmente por Dª Librada Vázquez Domínguez (licenciada en Ciencias Naturales y Catedrática de Escuela Universitaria), Dª Francisca Fernanda Fernández Illescas (licenciada en Ciencias Biológicas y Titular de Escuela Universitaria) y Dª Ana María Wamba Aguado (licenciada en Ciencias Biológicas y Titular de Escuela Universitaria), a los que se unieron D. Carlos González y Díaz de la Cortina (licenciado en Geología y Titular de Escuela Universitaria) y D. Miguel Ángel López Peña (licenciado en Ciencias Biológicas y Titular de Escuela Universitaria, que tras varios años en Huelva obtuvo una plaza en la Universidad de Sevilla). Tras la marcha de D. Miguel Ángel López Peña, se incorporó el profesor D. Francisco Córdoba García, como Catedrático de Escuela Universitaria, y al año siguiente se incorporó el también profesor D. Juan Carlos Pérez Quintero, como Titular de Escuela Universitaria.

Desde aquí también nuestro más profundo y eterno reconocimiento, admiración y agradecimiento a todos ellos por promover la enseñanza y el conocimiento de la Biología, y especialmente por hacerlo en tiempos difíciles donde la escasez de recursos y medios era habitual.

Con la creación de la Universidad de Huelva en 1993 y la adscripción de la Escuela de Magisterio a la UHU, los miembros (biólogos y biólogas) del “*Seminario de Ciencias Naturales*” de dicha Escuela se incorporaron a distintos departamentos de la nueva universidad. La profesora Dª Ana Wamba Aguado y el profesor D. Carlos González y Díaz de la Cortina se adscribieron al “Departamento de Didácticas Especiales”, mientras que los profesores, Dª Francisca Fernanda Fernández Illescas (Botánica), D. Francisco Córdoba García (Biología Celular), y D. Juan Carlos Pérez Quintero (Zoología) se integraron en la plantilla del Departamento de Ciencias Agroforestales, difuminándose así su presencia entre una inmensa mayoría de profesionales y áreas de la ingeniería, adscritas a ese mismo departamento.

En 1997 con la implantación de nuevas titulaciones, como la de Ciencias Ambientales, comienzan a incorporarse un mayor número de biólogos en el departamento de Ciencias Agroforestales, a distintas áreas de conocimiento.

Así, al área de Ecología se incorporan los profesores Eloy M. Castellanos Verdugo, Francisco Javier Jiménez Nieva y Carlos Javier Luque Palomo. En el área de Biología Celular se incorporan, además del mencionado profesor Francisco Córdoba García, los profesores Rafael Torronteras Santiago, Francisco J. Navarro Roldán y Antonio L. Canalejo Raya. En el área de Botánica, además de la mencionada profesora Francisca F. Fernández Illescas se incorporan los profesores Adolfo F. Muñoz Rodríguez y Pablo Hidalgo Fernández. Y, finalmente, en el área de Zoología se incorporan además del profesor Juan Carlos Pérez Quintero, los profesores José Prenda Marín y Javier Calzada Samperio.

Este grupo de biólogos y biólogas no solo se fueron incorporando a las distintas áreas de conocimiento que luego dieron origen a la creación del Departamento de Biología Ambiental y Salud Pública, junto al área de Medicina Preventiva y Salud Pública, sino que también fueron creando y/o incorporándose a distintos grupos de investigación de la Universidad de Huelva, y adscritos al Plan de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Junta de Andalucía (PAIDI). Así nos encontramos con la participación de estos biólogos y biólogas en los siguientes grupos de investigación:

GRUPO BIO-282: Respuestas y Adaptaciones Celulares Frente al Estrés Ambiental.
Dirigido por Francisco Córdoba García y con la participación entre otros miembros de Rafael Torronteras Santiago, Antonio L. Canalejo Raya y Pablo Hidalgo Fernández.

Grupo RNM-324: Biología de las Aguas Epicontinentales.
Dirigido por José Prenda Marín, y con la participación entre otros miembros de Juan Carlos Pérez Quintero.

GRUPO RNM-311: Ecología y Medio Ambiente.
Dirigido por Eloy M. Castellanos Verdugo, y con la participación entre otros miembros de Carlos J. Luque Palomo.

GRUPO RNM-358: Marismas y Playas.
Dirigido por Adolfo F. Muñoz Rodríguez, y con la participación entre otros miembros de F. Javier Jiménez Nieva y Javier Calzada Samperio.

GRUPO SEJ-523: Prevención de Riesgos Laborales.
Con la participación entre otros miembros de Francisco J. Navarro Roldán.

Muchas han sido las investigaciones que estos profesores y profesoras han realizado desde que empezaron a incorporarse a la Universidad de Huelva, y terminaron por constituir hace 20 años el Departamento de Biología Ambiental y Salud Pública. De ello, da buena cuenta las numerosas y prestigiosas publicaciones y artículos científicos de sus *curricula*. Este libro sobre la Biología de Huelva supone todo un esfuerzo por mostrar parte de esos estudios biológicos en esta provincia. Cada uno de los distintos profesores de biología, y atendiendo a sus áreas de conocimiento, han dedicado uno de los capítulos de este libro a temas como la flora, la fauna, la vegetación, la ecología, los espacios naturales, la microbiología y las características ambientales de Huelva.

Así, en el Capítulo 1, se presentan "las bacterias extremófilas de los ríos ácidos de Huelva". Estas bacterias son responsables en gran parte del denominado Drenaje Ácido de Rocas –cuando no se considera el efecto antropogénico- o del Drenaje Ácido de Minas –cuando su intensidad depende de las explotaciones mineras-, fenómeno por el cual se originan estas corrientes de agua caracterizadas por su acidez, color, y transporte de una variedad de metales. Estas bacterias tienen cada día mayor interés en la industria biometalúrgica. En otro sentido, la eliminación de metales de diversos residuos tiene también el interés cada vez mayor de mejorar la calidad ambiental y favorecer un desarrollo sostenible.

En el Capítulo 2 se nos habla de "una microalga del río Tinto que aporta beneficios para la salud", y donde se evalúa la capacidad antimicrobiana de algunos extractos obtenidos a partir de la microalga *Coccomyxa onubensis* (C. onubensis), un microorganismo extremófilo aislado de drenajes ácidos de la zona minera del río Tinto (Huelva, España). Así mismo la biomasa de esta microalga es rica en proteínas, lípidos, hidratos de carbono, antioxidantes y vitaminas, y, por lo tanto, su posibilidad de servir como alimento para animales también ha sido estudiada.

El Capítulo 3 nos aporta una síntesis de la flora de la provincia de Huelva que posee una flora de plantas vasculares que reúne unos 1700 taxones, lo que supone una riqueza alta por su posición en un importante punto caliente de biodiversidad mundial. La singularidad de su flora es muy alta debido al gran número de endemismos que contiene, lo que determina que posea un número muy elevado de especies protegidas incluidas en el Catálogo de Especies Amenazadas de Andalucía. En Huelva habitan 10 taxones en peligro de extinción y 27 vulnerables, a los que hay que añadir 21 incluidos en el régimen de protección especial.

El Capítulo 4 se dedica a la vegetación general de Huelva porque esta provincia es la de mayor superficie arbolada de Andalucía, aunque la mayoría de estos bosques proceden de plantaciones forestales, algunas muy antiguas. No obstante, aún conserva grandes extensiones de vegetación natural derivada de los enormes bosques mediterráneos de encina y alcornoque que poblaban la Península Ibérica. Se pueden identificar distintos tipos de encinares y alcornocales dependiendo de la litología y el bioclima. Con respecto a las plantaciones forestales, son muy frecuentes las de pinares y eucaliptares. Finalmente, en el corazón de la sierra, existen abundantes castañares, introducidos desde hace siglos para la explotación de su fruto y la madera.

El Capítulo 5 nos habla de los hongos: ecología y biodiversidad en ecosistemas litorales de Huelva. En este capítulo nos centramos en la biodiversidad fúngica y su importancia en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres onubenses, aspecto que ha permanecido hasta la fecha sumido en una importante laguna de conocimiento, usando como ejemplo 70 especies diferentes de hongos (aunque se citan un total de 292 especies distribuidas por los diferentes órdenes y las principales familias de este reino), seleccionadas entre las más representativas y/o singulares de la comarca del litoral onubense.

En el Capítulo 6 se presenta un ejemplo de las muchas investigaciones ambientales realizadas en Huelva y dedicada a la monitorización del estrés ambiental en el medio acuático mediante la evaluación de biomarcadores inducidos por cadmio en *Carassius auratus* (Linneo, 1758). La contaminación en el medio acuático es un problema cada vez más serio y que va en aumento. Los organismos acuáticos, pueden acumular los xenobióticos del agua contaminada o de la cadena trófica. En peces expuestos a bajas concentraciones de un metal como el cadmio, muy presente en los drenajes en Huelva, se produce una bioacumulación en los tejidos asociada a la inducción de estrés oxidativo y el desarrollo de daño genotóxico. Los biomarcadores tempranos de exposición y efecto utilizados en este estudio aparecen como herramientas útiles para la biomonitorización de la contaminación ambiental en el medio acuático.

El Capítulo 7 nos habla de los moluscos dulceacuícolas de Huelva. La fauna de invertebrados de Huelva ha sido, en general, poco estudiada. Existe gran cantidad de información acerca de la estructura de las comunidades en entornos emblemáticos como el Parque Nacional de Doñana o el

Paraje Natural Marismas del Odiel, pero del resto de la provincia de Huelva sólo se conocen mosaicos aislados. En este capítulo se recapitula información sobre 12 familias, 30 géneros y 32 especies (26 autóctonas y 6 introducidas).

El Capítulo 8 nos descubre los anfibios y reptiles de la provincia de Huelva. En él se presentan las especies estudiadas a lo largo 36 años de salidas al campo para la confección del Atlas Herpetológico de la Provincia de Huelva, y paralelamente, el Atlas Herpetológico de Andalucía. Se hace una breve reseña de cada una de las especies y se aportan fotografías de las mismas. En total son 43 las especies presentes en la geografía onubense, de ellas 13 son anfibios, 9 son quelonios, cinco de las mismas son tortugas marinas que deben ser tratadas como especies divagantes, y un galápago americano introducido, pero con poblaciones estables y perfectamente aclimatada, 12 saurios, 1 anfisbénido y 8 ofidios.

El Capítulo 9 se centra en la ictiofauna continental onubense. Los peces continentales son los vertebrados más diversos y los más amenazados. En total se aporta información sobre 96 localidades continentales, la mayoría fluviales, en las que se han registrado 38 especies de peces, de las que 18 son de distribución primaria, es decir, estrictamente continentales. Esta extraordinaria ictiofauna está expuesta a un grave riesgo de extinción, como se puede comprobar a partir de las extinciones locales registradas en este trabajo. De aquí se deduce que se deben redoblar los esfuerzos de protección de los hábitats acuáticos.

El Capítulo 10 nos descubre los mamíferos en Huelva. Esta provincia posee 23 espacios protegidos, entre ellos un Parque Nacional, dos Parques Naturales, ocho Parajes Naturales, un Paisaje Protegido, tres Reservas Naturales y una Reserva Natural Concertada. Entre todos los espacios protegen el 30% del territorio de la provincia de Huelva. Pero lo que es menos conocido es que Huelva es también rica y diversa en mamíferos. Como relata este capítulo, se han citado en la provincia hasta 72 especies distintas de mamíferos y 51 son comunes: seis especies de insectívoros, ocho especies de roedores, dos de lagomorfos, 19 especies de murciélagos, tres especies de ungulados, 10 de carnívoros y tres cetáceos. No en vano la provincia cuenta con seis áreas ZIM, Zonas Importantes para los Mamíferos de España.

El Capítulo 11 está dedicado a la ecología del litoral onubense (1): marismas mareales. Las marismas mareales son ecosistemas únicos, de alto valor ecológico, que ofrecen bienes y servicios que trascienden del ámbito geográfico local y repercuten tanto a escala regional como global. Huelva es rica en estos ecosistemas. Los organismos son mayoritariamente halófilos y sus productores primarios exclusivamente especies halófitas, con adaptaciones que les permiten vivir en estos ambientes. A escala regional, las marismas, son zona de cría, guardería y alimentación de numerosas especies animales en el Golfo de Cádiz, algunas de interés comercial. A escala global, las marismas onubenses estén mundialmente reconocidas por su importancia ornitológica, fundamentales para las aves de humedales que, en sus rutas migratorias, encuentra en las marismas de Huelva puntos de alimentación, descanso y reproducción.

Y el Capítulo 12 nos habla de la ecología del litoral onubense (2): sistemas dunares. Los sistemas dunares costeros son ecosistemas de transición de distribución mundial. Si bien están ceñidos a una pequeña franja del litoral, aportan importantes bienes y servicios ecosistémicos. Sin embargo, son espacios sometidos a una enorme tensión ambiental debido a la gran demanda por parte del

hombre para establecer instalaciones y realizar otros usos y actividades en su territorio (viviendas, paseos marítimos, vías de comunicación, agricultura, balnearios, etc.). Se consideran espacios amenazados y llegando incluso a su eliminación. La mayor parte de la costa de la provincia de Huelva dispone de una inmensa riqueza de sistemas dunares, con diferentes formaciones geomorfológicas. Dunas blancas, bosques litorales y dunas móviles forman parte de los sistemas dunares de un enorme valor natural.

Esperamos que el lector disfrute con esta Biología de Huelva que aquí le hemos querido mostrar y, sobre todo, poniendo de relieve el altísimo valor biológico, ecológico y medioambiental de la provincia de Huelva, así como visibilizar y reconocer el trabajo que los biólogos y biólogas de la Universidad de Huelva realizan desde que empezamos a incorporarnos a ella.

Finalmente, queremos agradecer a la Universidad de Huelva, al Vicerrectorado de Extensión Cultural y al Servicio de Publicaciones de la Universidad que hayan facilitado y posibilitado que este libro pueda ver la luz para conocimiento por parte de todos los onubenses de la riqueza de su tierra, de su naturaleza. Nos mueve también a ello el favorecer su protección, defensa y conservación. Y, al mismo tiempo, que este libro sirva también de estímulo a todos aquellos apasionados por la Biología y no duden en lanzarse a su estudio y conocimiento.



01

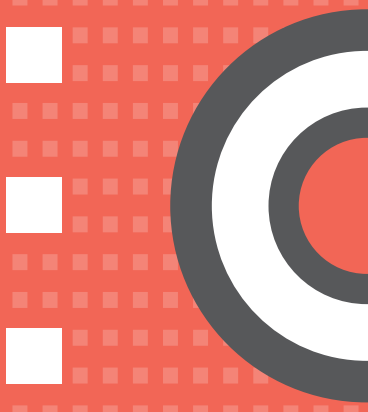
Las bacterias extremófilas de los ríos ácidos de Huelva

Francisco Córdoba García*

Grupo Investigación de Respuestas Celulares al Estrés Ambiental (BIO-282). Área de Biología Celular. Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España.

* Corresponding author | Dr. Francisco Córdoba García || fcordoba@dbasp.uhu.es || cordobagarciaf@gmail.com

Tel.: +34 959 21 98 96 || Fax: +34 959 21 94 67



Las bacterias extremófilas de los ríos ácidos de Huelva

Francisco Córdoba García

RESUMEN

Numerosos ríos y arroyos de la región minera del Andévalo están vinculados a la Faja Pirítica Ibérica y a la explotación minera que desde hace más de 4.000 años se viene realizando en la zona. Sus aguas se caracterizan por un intenso color rojo, por su extrema acidez y por transportar una variedad de metales. Aunque se pensaba que dichas aguas carecían de vida, en ellas habita una rica comunidad de microorganismos eucariotas y de bacterias. Ésta está constituida principalmente por bacterias aerobias quimiolitoautotróficas hiperacidófilas, siendo *Acidithiobacillus ferrooxidans* la especie más abundante. Estas bacterias son responsables en gran parte del denominado Drenaje Ácido de Roca –cuando no se considera el efecto antropogénico– o del Drenaje Ácido de Mina –cuando su intensidad depende de las explotaciones mineras–, fenómeno por el cual se originan estas corrientes de agua caracterizadas por su acidez, color, y transporte de una variedad de metales. Por otra parte, estas bacterias tienen cada día mayor interés en la industria biometalúrgica dada su capacidad oxidativa y lixiviadora de compuestos inorgánicos reducidos como los sulfuros metálicos, pudiendo aplicarse para recuperar metales de minas agotadas, de aguas de drenajes, o de materiales derivados de la industria, por lo que tienen un interés comercial. En otro sentido, la eliminación de metales de diversos residuos tiene también el interés cada vez mayor de mejorar la calidad ambiental y favorecer un desarrollo sostenible.

ABSTRACT

Many rivers and streams in the Andévalo mining region are linked to the Iberian Pirytic Belt and to the mining exploitation that has been taking place in the area for more than 4,000 years. Their waters are characterized by an intense red color, by their extreme acidity and by transporting a variety of metals. Although it was thought that such waters lacked life, a rich community of eukaryotic micro-organisms and bacteria have been identified. This is mainly composed of aerobic, hyperacidophilic aerobic bacteria, with *Acidithiobacillus ferrooxidans* being the most abundant species. These bacteria are responsible for a large part of the so-called Acid Rock Drainage (when the anthropogenic effect is not considered) or the Acid Mine Drainage –when its intensity depends on mining operations–, a phenomenon that gives rise to these coloured, acidic and metals-transporting waters. On the other hand, these bacteria have increased interest in the biometallurgical industry due to their oxidative capacity and leaching capacity of reduced inorganic compounds such as metal sulfides, since they can be applied to recover metals from depleted mines, drainage waters, or materials derived from the industry, so they have a commercial interest. In another sense, the elimination of metals from various wastes also has the growing interest in improving environmental quality and favoring sustainable development.

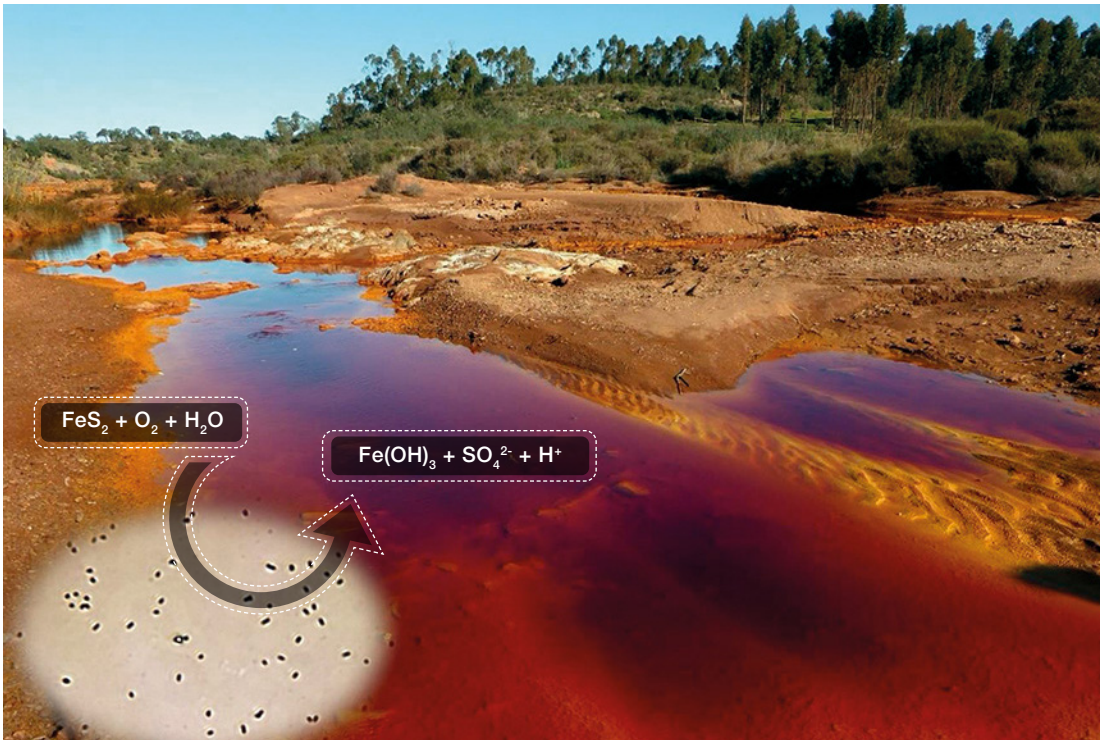
PALABRAS CLAVE

Bacterias hiperacidófilas, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, Drenaje Ácido de Roca y de Mina, Biominería y Biometalurgia

FIGURA
01-0

La ribera de Agustín (próxima a Alosno).

FOTOGRAFÍA: F. Córdoba



A la izquierda abajo, bacterias acidófilas en cultivo. Se muestra también la reacción global de oxidación de la pirita catalizada por las bacterias.

[1]
La faja pirítica de Huelva

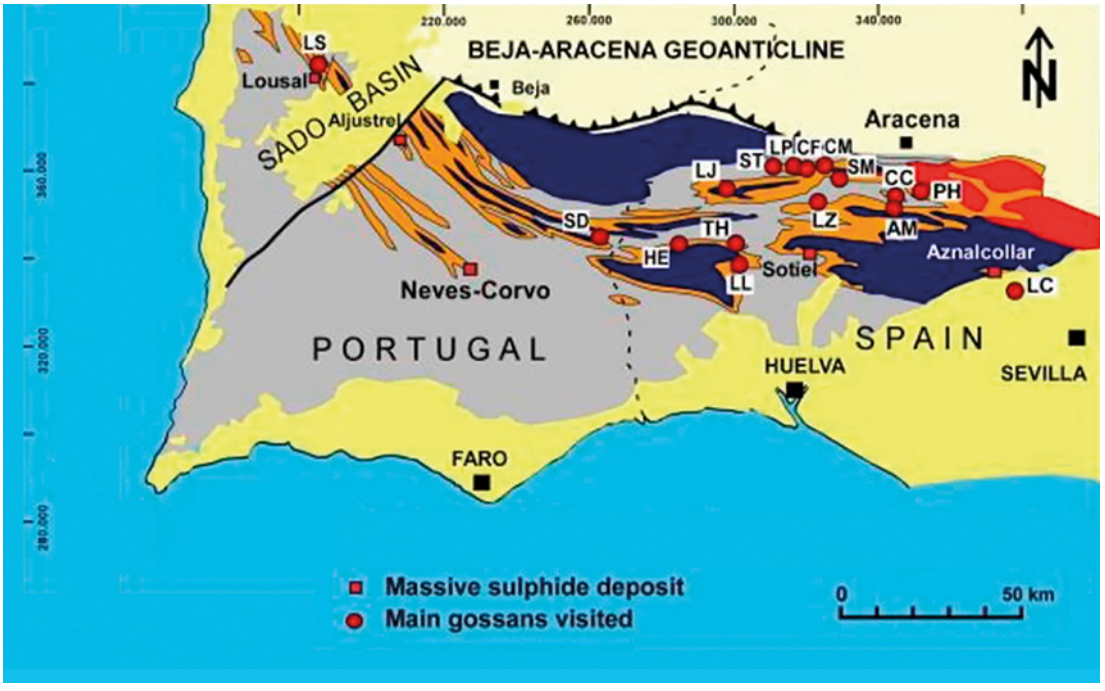
La provincia de Huelva se caracteriza por incluir la mayor parte de la denominada faja pirítica ibérica, la cual representa probablemente la mayor acumulación de sulfuros masivos polimetálicos de la corteza terrestre. La faja pirítica se extiende unos 250 km y tiene una anchura promedio de unos 30 km [FIGURA 01-1]. Sus límites los hallamos, al este, en la provincia de Sevilla y hacia el oeste, en la comarca del Baixo Alentejo portugués. La historia de su explotación se remonta a más de 4.000 años de antigüedad en los que el cobre, la plata, el oro y más recientemente el azufre (de interés para fabricar ácido sulfúrico) han sido los metales más demandados (Tornos, 2008; Tornos *et al.*, 2009).

La exposición de las piritas al oxígeno y al agua provoca su oxidación, generando acidez y sulfatos y diversas formas oxidadas de hierro. Las aguas de escorrentía, al atravesar los materiales piríticos, adquirirán entonces su característico color rojizo y su extrema acidez, a la vez que transportarán una ingente cantidad de metales lixiviados a través de las cuencas fluviales hasta el océano. Este fenómeno, de origen natural, se denomina Drenaje Ácido de Roca, y dadas sus consecuencias ambientales y la intervención decisiva de ciertas bacterias en su desarrollo requiere nuestra atención.

FIGURA
01-1

Faja Pirítica Ibérica

(Velasco *et al.,* 2013)



LEGEND

- Post-Hercynian cover
- Messejana Fault and Dolerites
- granitic intrusives

HERCYNIAN OROGENY

- CULM GROUP (and Culm-type sequences)
- VOLCANIC-SEDIMENTARY COMPLEX (VSC)
- PHYLLITE-QUARTZITE GROUP (PQ Group including pulo Group)

[2]
El Drenaje Ácido de Mina

Desde mediados del siglo XIX, la actividad minera cobró una importancia fundamental. Se aplicaron nuevos y más eficaces sistemas de extracción de minerales en función de la demanda de cobre en particular y de ácido sulfúrico. Su incidencia en la provincia de Huelva fue y es notable por cuanto, en algo más de un centenar de años, cambió su fisonomía, sus sistemas productivos, su arquitectura, sus vías de comunicación, sus costumbres e incluso las formas de relación entre los distintos estratos sociales.

La Huelva que hoy vislumbra el visitante es la consecuencia, positiva en muchos sentidos pero también negativa en muchos otros, de la frenética actividad minera e industrial que se desarrolló desde los años 50 del pasado siglo.

Restringiéndonos al desarrollo de la minería, en el Andévalo onubense se abrieron más de 80 minas que, con frecuencia, realizaban una explotación a cielo abierto dando lugar a extensos socavones de forma más o menos cónica, que se denominan "cortas". Las cortas Atalaya o de Cerro Colorado en las proximidades de Riotinto son abrumadoras por sus dimensiones, pero también los llamados filones –Norte, Sur, y Centro- de Tharsis o la corta de Santa Bárbara de San Telmo en el término municipal de Cortegana. Los cursos de agua que surgen de las explotaciones mineras tendrán un intenso color rojo, serán de una acidez extrema y conducirán numerosos metales disueltos o en suspensión, pero también permitirán el desarrollo de una vida singular, sea en sus aguas, sea en los suelos afectados por éstas, como es el caso de la presencia de *Erica andevalensis*, el brezo de las minas, endémico de la Faja Pirítica (Márquez et al, 2004) [FIGURA 01-2] .

Las paredes de las cortas contienen materiales oxidados de hierro, que le dan su color, y se encuentran más o menos inundadas de agua de un intenso color rojo, que en función del volumen contenido se ve oscurecido, aunque en su quietud aparecen tonos azules por el reflejo del cielo. Desde estas zonas de explotación masiva de sulfuros metálicos se desarrollan corrientes de agua formando una red de ríos y arroyos que confluyen en los dos ríos que conforman el estuario de la ciudad de Huelva: el rio Tinto y el río Odiel. Y así, Huelva, como una Mesopotamia de occidente se halla entre ríos que en su desembocadura han ido depositando durante milenios metales derivados de la oxidación natural de los sulfuros de la faja pirítica.

El análisis de la edad de estos materiales y de su ritmo de acumulación refleja con claridad que el drenaje ácido se incrementó notablemente en la época de las explotaciones romanas, pero el incremento fue exponencial en el periodo que se inicia alrededor de 1850. Es por ello que se denomina Drenaje Ácido de Mina (AMD, por sus siglas en inglés). al conjunto de procesos naturales de oxidación y lixiviación de sulfuros cuando estos se derivan de las actividades vinculadas a la minería y a la industria que la acompaña, lo cual explica la extrema acidez de los ríos y el transporte de metales derivados de la pirita (FeS_2), calcopirita ($CuFeS_2$), esfalerita o blenda (ZnS), galena (PbS), arsenopirita (FeAsS), entre otros (Olías y Nieto, 2015).

Debe subrayarse que, tal y como indican Gómez-Ortiz *et al.* (2014), el drenaje ácido de piritas es un proceso natural –físico, químico y biológico- que se remonta al menos a finales del Mioceno (unos 6 millones de años). Los autores mencionados subrayan que sus "resultados implican que la actividad minera tuvo poca influencia en la generación de aguas ácidas fluviales". Sin embargo, debe consi-

FIGURA
01-2

Imágenes de los paisajes mineros

FOTOGRAFÍA: F. Córdoba



A: Filón norte de Tharsis
B: *Erica andevalensis* creciendo junto al río Odiel a su paso por Sotiel-Coronada
C: Cerro Colorado entre Río Tinto y La Dehesa
D: El color de las aguas ácidas.

derarse que las explotaciones mineras pusieron al descubierto cantidades ingentes de toneladas de material, antes aislado del oxígeno y del agua, y por otra parte que el volumen de material extraído se fragmentó de tal manera que la superficie de las piritas expuestas a las condiciones atmosféricas aumentó extraordinariamente. Únanse a esto procedimientos poco eficaces y sobre todo poco respetuosos con el medio ambiente en la metalurgia del siglo XIX y de la mayor parte del siglo XX, y el abandono a la intemperie de restos de materiales muy fragmentados derivados de la actividad minera (las llamadas escombreras), y tendremos una imagen, que se puede considerar dramática, de uno de los mayores fenómenos de impacto y degradación ambiental de Europa (Sánchez-España *et al.*, 2005; Grande *et al.*, 2011; Olías y Nieto, 2015). Para estos Olías y Nieto (2015) "los procesos naturales de drenaje ácido de rocas pueden ser despreciados". El fenómeno del drenaje ácido de minas no es exclusivo de la Faja Pirítica Ibérica, sino que afecta a otras muchas regiones piritíferas del planeta (ej. Huang *et al.*, 2016).

En cualquier caso, la presencia de la faja pirítica y la extracción de los minerales que encierra a lo largo de milenios ha configurado el paisaje del Andévalo onubense, único en el mundo. Al respecto, la singularidad del río Tinto es tal, que la Junta de Andalucía declaró el "Paisaje Protegido del Río Tinto" mediante el Decreto 558/2004 de 14 de diciembre, siendo sus objetivos (art.2):

a) Conservar la riqueza geomorfológica originada como consecuencia de las actividades mineras en la zona.

b) Mantener las peculiares características de las aguas del Río Tinto que permiten la existencia de especies singulares adaptadas a condiciones extremas como consecuencia de la alta acidez y concentración de sales ferruginosas de sus aguas.

c) Garantizar el desplazamiento de la fauna silvestre entre los espacios naturales que se conectan, conservando y protegiendo las poblaciones y hábitats de las especies que se encuentren presentes en el ámbito del paisaje, especialmente el lince ibérico, así como estableciendo las conexiones funcionales con los espacios naturales del entorno.

d) Conservar los sistemas naturales existentes en su ámbito territorial y colaborar con los programas internacionales de conservación, protegiendo y facilitando para ello, la difusión de los valores naturales, faunísticos, botánicos, paisajísticos y culturales que se encuentran en la zona.

e) Llevar a cabo la dotación de equipamientos e infraestructuras medioambientales que contribuyan, con estricto respeto a los valores naturales, al uso público y al disfrute del paisaje, desarrollando programas de educación ambiental y otras actuaciones relacionadas con la naturaleza.

f) Promover la investigación científica cuyo objeto sea el conocimiento de aspectos relacionados con la conservación, ordenación y gestión de este espacio natural.

g) Promover la sensibilización y actuaciones participativas y de implicación de la población local en la conservación de este espacio.

h) Regenerar los sistemas degradados, sin alterar las peculiaridades del paisaje minero y la singularidad de sus aguas.

Es por ello que la restauración mediante tratamientos pasivos de los drenajes ácidos de minas, considerada necesaria dado el nivel de acidez y la elevada concentración de metales pesados que transportan los ríos afectados, se lleva a cabo en cursos de agua vinculados a la cuenca del Odiel (Sarmiento *et al.*, 2017).

[3]
Las bacterias de los ríos ácidos de Huelva

El río Tinto en particular parece carecer de vida como expresa, por ejemplo, el poeta e historiador sevillano Rodrigo Caro (1563-1647) quien dice que “no nace en él cosa viva, antes mata las que echan en su agua” [FIGURA 01-3].

FIGURA 01-3

Portada y la página 99 de “*antigüedades y principado de la ilustrísima ciudad de Sevilla y chorographia de su convento jurídico, o antigua chancillería”* de Rodrigo Caro (1634).

FUENTE: www.cervantesvirtual.com



Sin embargo, desde el Centro de Astrobiología de Madrid y bajo la dirección del Dr. Ricardo Amils se han realizado numerosos estudios que demostraron que las aguas del río Tinto contienen una rica comunidad de especies bacterianas –procariotas- y de algas, hongos y protozoos – eucariotas- (Aguilera, 2013; Amils, 2016)

Las bacterias más abundantes en las aguas ácidas del Tinto se califican, desde un punto de vista metabólico, como quimiolitoautotróficas aerobias. Esta terminología nos indica que su fuente de energía y de poder reductor proviene de materia inorgánica reducida (los sulfuros metálicos), y que poseen la maquinaria necesaria para reducir el CO_2 del aire hasta formar compuestos orgánicos. Su metabolismo implica además que utilizan el oxígeno como aceptor final de electrones derivados de la oxidación de la materia orgánica sintetizada en su seno. Además, su pH óptimo de crecimiento se sitúa en torno a 2, por lo que se consideran como bacterias extremas hiperacidófilas.

Las bacterias más representativas de las aguas del Tinto son, por orden de abundancia, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferroxidans* y *Acidiphilium* sp. Las dos primeras especies representan aproximadamente el 50% del total de las bacterias identificadas. Y son las principales responsables de la oxidación del hierro en el ecosistema del Tinto (García-Moyano *et al.*, 2007). Sin embargo, en las aguas de lagos de residuos ácidos de cortas de minas (*pit lakes*), la proporción de géneros bacterianos es diferente y muy variable según el área de muestreo y la profundidad del mismo. Así, en superficie abundan *Acidiphilium* y *Leptospirillum*; en profundidad *A. ferrooxidans* es más frecuente, probablemente porque dada su condición de bacteria anaerobia facultativa utiliza el sulfato como agente oxidante. Otros géneros identificados son: *Metallibacterium*, *Ferrimicrobium*, *Acidisphaera*, etc.; en general hay pocas arqueobacterias (Santofimia et al, 2013; González-Toril *et al.*, 2014).

Sea en el Tinto o en otros ambientes ricos en sulfuros, se conocen una variedad de bacterias acidófilas que oxidan hierro y/o azufre y que pertenecen a los géneros *Acidianus*, *Ferroglobus*, *Ferrimicrobium*, *Ferroplasma*, *Metallosphaera*, *Sulfobacillus*, *Sulfolobus,* etc. (Jia *et al.*, 2018; Quatrini y Johnson, 2018). En general se trata de eubacterias –en algunos casos archeobacterias- mesófilas a hipertermófilas, cuyo pH óptimo de crecimiento se encuentra entre 1 y 4.

El drenaje ácido se produce en unas circunstancias concretas que comienzan cuando los sulfuros metálicos se exponen al oxígeno del aire:

$$2FeS_2 + 7O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe^{2+} + 4SO_4^{2-} + 4H^+$$

La reacción anterior, o **reacción de iniciación**, produce condiciones ácidas.

Cuando el pH es mayor a 4,5, el ión ferroso (Fe^{2+}) generado se oxida espontáneamente en el aire a ión férrico (Fe^{3+}), pudiendo formar hidróxido férrico $Fe(OH)_3$, que precipita a pH > 3:

$$Fe^{2+} + ¼O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{3+} + ½H_2O \leftrightarrow Fe(OH)_3 + 3H^+$$

Realmente el hidróxido férrico es una mezcla de óxidos férricos hidratados y la base para la formación de minerales oxidados e hidratados de hierro, como la goethita (un óxido hidróxido de hierro(III), u otros asociados a los sulfatos como la jarosita (un sulfato hidratado de potasio y hierro) Al respecto, recientemente Gang *et al.* (2017) han demostrado mediante el uso de medios sintéticos que usan $FeSO_4$ como fuente de hierro(II) que el principal mineral precipitado por la actividad de *Acidithibacillus ferrooxidans* es jarosita bien cristalizada. En las riberas de los ríos ácidos, una variedad de minerales ricos en sulfato y hierro precipitarán por evaporación dando lugar a los típicos

colores amarillo-anaranjados-rojizos de las sales que tuvieron una extraordinaria importancia para la obtención de acije, aceche o caparrosa (sulfatos metálicos usados en la industria textil como colorantes y mordientes), una actividad que se inició en el califato y que continuó hasta el siglo XVII[1]) (Olías y Nieto, 2015).

Cuando las aguas se vuelven ácidas, el Fe^{2+} formado es más estable en presencia de oxígeno. El $Fe(OH)_3$ también se hace más soluble a pH bajo, y ya que la concentración de Fe^{3+} aumenta al aumentar la acidez, el papel del Fe^{3+} como agente oxidante llega a ser más importante que el del O_2. A pH más bajos (<3), el Fe^{3+} oxida a la pirita más rápidamente de lo que el oxígeno oxida al Fe^{2+}. Como resultado, la pirita reducirá todo el Fe^{3+} y la reacción se detendrá. Por consiguiente, la oxidación del Fe^{2+} al Fe^{3+} representa el **factor limitante** en la producción del drenaje ácido de las minas:

$$FeS_2 + 14Fe^{3+} + 8H_2O \rightarrow 15\ Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 16H^+$$

En la naturaleza, estas reacciones son extremadamente lentas. Sin embargo, las bacterias acidófilas, como *A. ferrooxidans o L. ferrooxidans*, son capaces de catalizar la reacción de oxidación en un proceso que genera energía. Esto da lugar a que la velocidad de oxidación del Fe^{2+} por las bacterias sea alrededor de un millón de veces mayor que la oxidación de la pirita por procesos abióticos. El Fe^{3+} formado en estas condiciones, siendo soluble, puede fácilmente reaccionar con más pirita. Por consiguiente, hay un incremento progresivo de la velocidad de oxidación de la pirita, llamado ciclo de propagación (Pearce *et al.*, 2016).

Por otra parte, la oxidación bacteriana de la pirita (FeS_2) genera tiosulfato (S_2O^{2-}):

$$FeS_2 + 6\ Fe^{3+} + 3H_2O \rightarrow 7Fe^{2+} + S_2O_3^{2-} + 6H^+$$

El tiosulfato (o azufre elemental) puede ser oxidado por bacterias como *A. ferrooxidans* o *T. thiooxidans*, generando ácido sulfúrico:

$$S_2O_3^{2-} + 2O_2 + H_2O \rightarrow 2H^+ + 2SO_4^{2-}$$

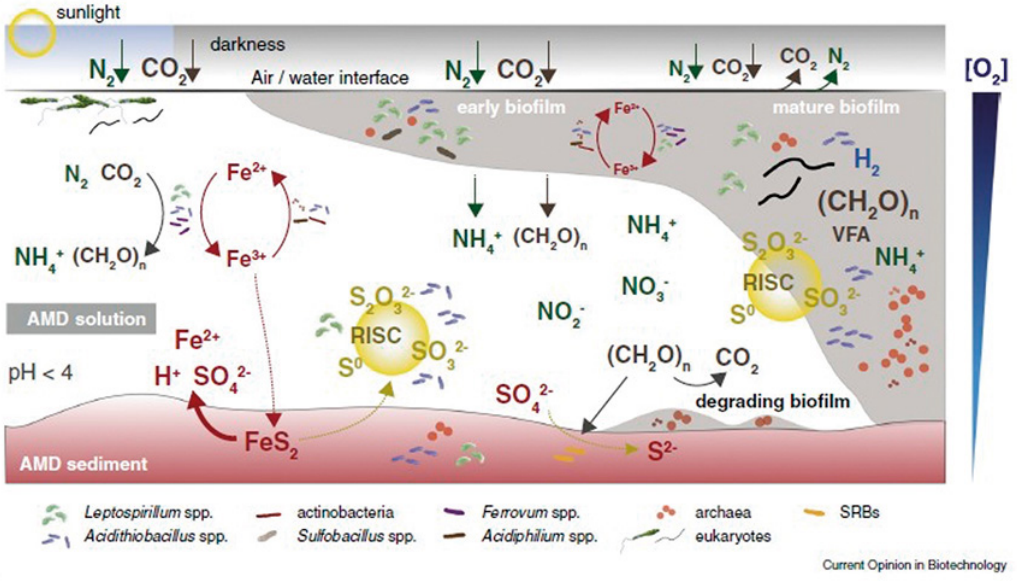
Es decir, la exposición de las piritas a la atmósfera (oxígeno y agua) conduce a una acidificación extrema de las aguas de drenaje, que a su vez son el medio de transporte de iones férricos y otros metales (Cu, Zn, Mn, etc.) solubles a pH ácidos (Schippers y Sand, 1999; Rohwerder *et al.*, 2003). Una variedad de estudios describen con detalle los componentes y la cinética de la oxidación del hierro y de los sulfuros mientras se observa, mediante SEM, que las piritas se van erosionando (Valdés *et al.*, 2008; Kocaman *et al.*, 2016; Tu *et al.*, 2017). Es interesante el hecho de que bajo condiciones ácidas el Fe(II) proporciona una excelente oportunidad a los microorganismos acidófilos, tanto como donador de electrones como fuente de energía, lo que los diferencia de aquéllos que viven en ambientes neutros (Mishra et al, 2015).

1 https://www.iaph.es/patrimonio-inmueble-andalucia/resumen.do?id=i23518

En un ecosistema caracterizado por los procesos de Drenaje Ácido de Mina, una diversidad de especies bacterianas coopera metabólicamente para oxidar las formas reducidas de azufre y hierro. En ríos caracterizados por el AMD, numerosas especies bacterianas forman biofilms. Combinando técnicas de análisis genómico y proteómico se ha comprobado que su distribución espacio-temporal evoluciona en estos ambientes desde combinaciones genotípicas que explican la colonización inicial a otras propias de estados de sucesión ecológica más avanzados (Chen el al., 2016). Durante esos procesos de sucesión, las bacterias conforman consorcios metabólicos que actúan sinérgicamente y establecen sistemas de comunicación célula a célula mediante mecanismos quimiotáxicos (Bryan *et al.*, 2006; Bellenberg *et al.*, 2014). A modo de ejemplo de la importancia de estos consorcios se conoce que la actividad de los organismos oxidantes del hierro lleva a la producción de hierro férrico pero su actividad también produce la acumulación de azufre elemental y polisulfuros en la superficie del sustrato. Esta acumulación actúa como barrera para la difusión del oxígeno y de los iones de hierro(III) lo que lleva a la inhibición de la lixiviación. Las bacterias oxidantes del azufre son capaces de oxidar esta capa formada por azufre y polisulfuros y además formar ácido sulfúrico a partir de estos compuestos, reduciendo el pH y eliminando esta capa de pasivación (Rohwerder *et al.*, 2003).

FIGURA 01-4

Interacciones durante el drenaje ácido de minas. (Chen *et al.*, 2016)
Se consideran 3 ambientes: Interface Aire/Agua, Biofilms y Sedimentos. Bacterias auto- y diazotróficas fijan CO_2 y N_2 mediante la reducción acoplada a la oxidación de Fe(II). Las Reacciones redox a cargo de bacterias litotróficas que consumen sulfuros metálicos (RISC) se llevan a cabo mediante la formación de biofilms y procesos de colaboración metabólica. En los sedimentos, una variedad de bacterias heterotróficas degradan los biofilms. En condiciones microaeróbicas y anaeróbicas, a la vez que las bacterias reductoras de sulfato regeneran los RISC.



[4]
Acidithiobacillus ferrooxidans como modelo de bacteria quimioautolitotrófica

A. ferrooxidans (antes llamado *Tiobacillus ferrooxidans*) es el principal responsable del drenaje ácido de rocas y de minas en los ambientes piríticos. Puede oxidar tanto hierro como azufre. Dadas sus características es también la especie más utilizada en procesos de recuperación de metales de interés agrupados bajo la denominación de Biominería o Biometalurgia (OECD, 2006). *A. ferrooxidans* es una γ-proteobacteria. Se trata de un bacilo gram negativo que se reproduce comúnmente mediante fisión binaria. Además es una especie hiperacidófila y tolerante a la contaminación por metales pesados, capaz de vivir en un medio con valores de pH entre 1,5 y 2,5. Se trata de una bacteria mesófila, que vive a temperaturas entre 20 y 35 °C. Puede ser aerobia (utiliza el oxígeno como aceptor de electrones) y anaerobia facultativa (utiliza el ión férrico como aceptor). Desde un punto de vista metabólico se trata de una bacteria quimiolitoautotrofa: utiliza hierro y azufre como fuente de poder reductor y de energía con los que puede fijar el CO_2 para generar materia orgánica. Además, es una bacteria diazotrófica capaz de fijar el N_2 del aire (Valdés *et al.*, 2008; Esparza *et al.*, 2010).

En el laboratorio se suele cultivar en medio líquido a pH ≈ 2, en matraces situados en un agitador orbital en medio líquido, el llamado medio 9K de Silverman y Lundgren (1959) constituido exclusivamente por sales inorgánicas, o en medio tiosulfato a pH ≈ 4 [TABLA 01-1], al cual se le añade un inóculo procedente de ríos ácidos del entorno, especies aisladas de dichos medios o especies adquiridas en colecciones comerciales de bacterias. El medio debe suplementarse con una fuente de Fe(II), necesario para el crecimiento de las bacterias. También es posible cultivar *A. ferrooxidans* y otras bacterias similares en medio sólido, aunque estos cultivos presentan numerosos problemas por dificultades de gelificación a pH ácido (Starosvetsky *et al.*, 2013).

TABLA 01-1

Composición de los medios usados habitualmente para cultivar *A. Ferrooxidans* y otras bacterias quimiolitotrofas oxidantes de sulfuro y/o hierro.

Llevar hasta 1 l con agua destilada. Ajustar pH con H_2SO_4

Medio a pH 1,5-2,5		Medio a pH 4-4,5	
KH_2PO_4	0,5 g	KH_2PO_4	3 g
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,5 g	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,5 g
$(NH_4)_2SO_4$	3 g	$(NH_4)_2SO_4$	0,4 g
KCl	0,1 g	$Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$	5 g
$Ca(NO_3)_2$	0,01 g	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0,25 g
$FeSO_4$ x $7H_2O$	24-48 g	$FeSO_4$ x $7H_2O$	0,01 g

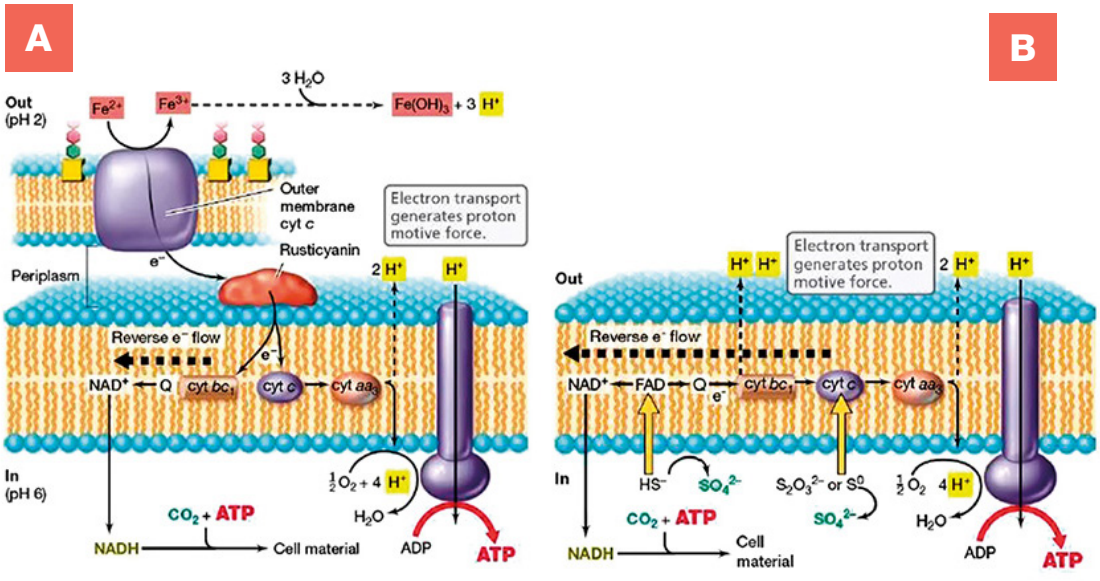
El mecanismo de oxidación del hierro [FIGURA 01-5A] comienza en la membrana externa donde el Fe(II) es oxidado a Fe(III) mediante un citocromo que transfiere los electrones al espacio periplásmico, donde los electrones son transferidos desde la rusticianina (una cuproproteína) hacia una cadena de transportadores de la membrana interna. En esa localización se produce un flujo de electrones hacia una citocromo *c*-oxidasa que reduce el O_2 a H_2O o, mediante un flujo inverso, se transfieren los electrones hacia una cadena de citocromo *bc1*-quinona-deshidrogenasa que genera NADH como fuente de poder reductor requerido para la reducción de CO_2 mediante el ciclo de Calvin (similar al usado por los organismos fotosintéticos para fijar carbono). Dada la existencia de un poderoso gradiente de protones (recuérdese que el medio tiene un pH en torno a 2, mientras que el espacio intracelular tiene un valor de pH de aproximadamente 6), una ATPasa de la membrana interna cataliza la síntesis de ATP, que se utilizará como fuente de energía para diversos procesos anabólicos. Obsérvese que el hierro se oxida extracelularmente y que su combinación con agua generará oxihidróxidos de hierro y se acidificará el medio.

FIGURA 01-5

Transferencia de electrones en *a. Ferrooxidans*

FUENTE: Madigan *et al.*, 2015

En ambos casos se muestran los principales transportadores de electrones así como los flujos directo e inverso de éstos. La generación de ATP, gracias al gradiente de protones, se integra en las figuras.



A: Oxidación de hierro **B:** Oxidación de azufre

La ruta de oxidación del azufre [FIGURA 01-5B] es más complicada que la del hierro, ya que intervienen varios transportadores de electrones y una variedad de enzimas (sulfuro-quinona oxidorreductasa, tetrationato hidrolasa, tiosulfato-quinona oxidorreductasa, sulfito oxidasa, etc.) no mostradas en la

figura. En todo caso, y como en el caso anterior, la oxidación de los compuestos reducidos de azufre produce diversos intermediarios (S^0 y SnO_6^{2-}.) y permitirá la reducción del oxígeno hasta agua y la generación de NADH. Simultáneamente, y como en el caso anterior, el ATP se sintetizará gracias a la fuerza protón-motriz derivada del gradiente electroquímico generado en un medio tan ácido como el hábitat de estas bacterias (Valdés *et al.*, 2008; Stahl *et al.*, 2015).

Diversos análisis moleculares destacan el papel de agrupaciones o *clusters* de genes que codifican la síntesis de diversas proteínas y enzimas ligadas al ciclo de Calvin-Benson-Bassham (de ahí que se denomine a esas agrupaciones como CBB). Se trata de operones vinculados al gen regulador CbbR, que regula en muchos organismos la expresión de los genes de la RuBisCO, una enzima esencial para la fijación de carbono en organismos fotosintéticos así como para explicar la fotorrespiración (Valdés *et al.*, 2008; Esparza *et al.*, 2010).

La fijación de N_2 también es posible en *A. ferrooxidans* y *L. ferrooxidans* (Mackintosh, 1978; Pretorius *et al.*, 1987; Norris *et al.*, 1995). Esta representa una prueba más de la versatilidad metabólica de estas bacterias por cuanto en presencia de oxígeno, el nitrógeno es incorporado a partir de sales de amonio, pero las bacterias contienen toda la batería necesaria de genes *nif* para fijar el nitrógeno atmosférico cuando la concentración de oxígeno es limitada. Se trata por tanto de un mecanismo adaptativo cuando la fuente de nitrógeno reducido es limitante; naturalmente la bacteria modificará para ello varios aspectos de su metabolismo y los mecanismos de regulación de la expresión génica que alterarán las vías de producción de energía y la pared celular entre otros.

Una prueba más de versatilidad metabólica de *A. ferrooxidans* es su capacidad para crecer en condiciones anaerobias usando H_2/Fe^{3+}, H_2/S^O, o S^O/Fe^{3+}. El hidrógeno y el azufre actuarían como donadores de electrones y el hierro oxidado como aceptor de electrones, lo que define un típico proceso de respiración anaerobia. Para ello, la bacteria utiliza citocromos tipo *bc1* y tipo tipo *c,* que transfiere los electrones al Fe^{3+} reduciéndolo a Fe^{2+}. La respiración anaerobia en *A. ferrooxidans* puede representar un mecanismo relevante para el reciclado de F^{3+}/Fe^{2+} así como para comprender los procesos de biolixiviación de los sulfuros metálicos en el medio natural, donde se definen distintos ambientes nutricionales y gradientes aerobios/anaerobios (Osorio *et al.*, 2013; Kucera *et al.*, 2016).

A modo de resumen de esta versatilidad génica y metabólica de *A. ferrooxidans*, la fig. C-6 (Valdés *et al.*, 2008) muestra el complejo entramado de proteínas en la membrana de la bacteria y una variedad de rutas metabólicas en su citoplasma. Al respecto, se destacan los complejos que definen la oxidación de hierro y de azufre, los implicados en la fijación de CO_2 y de N_2, los genes de resistencia a metales pesados y la maquinaria de síntesis de los polímeros extracelulares (EPS).

La biolixiviación de sulfuros metálicos por *A. ferrooxidans* y bacterias similares que explican el drenaje ácido, con o sin intervención humana, requiere que las bacterias acidófilas interactúen con las piritas *in situ*. Para ello, las bacterias generan sustancias poliméricas extracelulares (exopolisacáridos, EPS) que permiten la adherencia del microorganismo al sustrato sólido y crean un ambiente óptimo para su crecimiento mediante la fijación de CO_2 y de N_2 (si las sales de amonio son limitantes) asociadas a la oxidación de los sulfuros metálicos. De hecho, en el medio extracelular de *A. ferrooxidans* hay varias proteínas con abundantes grupos tioles directamente implicadas en la activación de los sulfuros previamente a su oxidación (Zhang *et al.*, 2008; Chandraprabha y Natarajan, 2013). La estructura molecular y las propiedades de la EPS de las bacterias hiperacidófilas apenas se conoce (Wang *et al.*, 2019) aunque

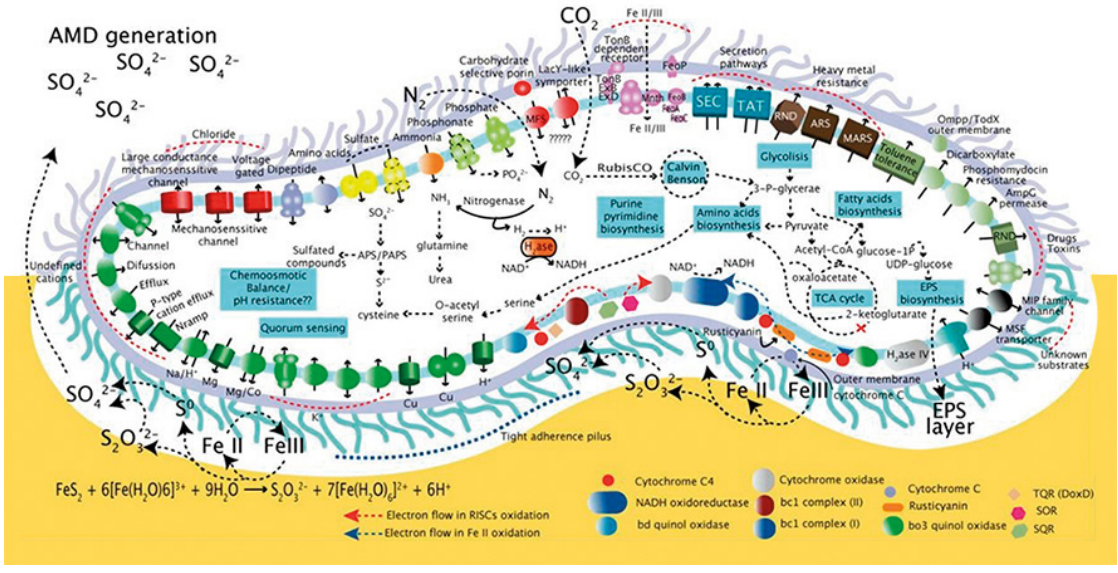
el hecho de que el incremento de temperatura disminuya la síntesis de EPS y concomitantemente la eficacia de la biolixiviación sugiere que esta capa extracelular es en primer lugar un elemento protector frente a las condiciones ambientales extremas. Por otra parte, en el medio natural, los componentes extracelulares poliméricos se generan por los cultivos mixtos representados por los consorcios bacterianos que formarían biofilms en torno a las fuentes de sulfuro y de hierro(II) (Zhu *et al.*, 2012).

FIGURA 01-6

Modelo global del metabolismo celular de *A. Ferrooxidans*

FUENTE: Valdés *et al.*, 2008

Se muestran los componentes quimiolitotrofos (oxidación de azufre e hierro) que explican la generación de AMD, los mecanismos de incorporación de CO_2 y de N_2, los genes de resistencia a metales pesados, y los implicados en la síntesis de polímeros extracelulares (EPS)



En estas condiciones, los microorganismos pueden atacar la red cristalina de los sulfuros a través de la oxidación enzimática por transporte de electrones desde la parte reducida del mineral al oxígeno disuelto al ponerse en contacto con el sustrato (mecanismo directo). Sin embargo, parece ser que este mecanismo se conjuga con un mecanismo indirecto (probablemente más importante para explicar la biolixiviación de sulfuros metálicos) donde el Fe^{3+} generado por oxidación de las piritas provoca cambios en el potencial redox del medio de tal forma que los microbios sésiles juegan un papel limitado en la oxidación de la pirita en medios con potencial redox inferior a 650 mV (Liu *et al.*, 2017).

Aunque existen controversias sobre la participación real en el medio de mecanismos directos e indirectos (Mishra y Rhee, 2014), cada vez más datos apoyan el llamado mecanismo indirecto, es decir, la capacidad

de las bacterias quimiolitotrofas oxidantes de hierro y azufre para generar un potencial redox muy oxidante que generaría Fe^{3+} en solución y éste atacaría químicamente a los sulfuros metálicos [FIGURA 01-7]. No obstante, es factible la existencia de un mecanismo denominado **por contacto** o de **cooperación metabólica,** similar desde un punto de vista catalítico al indirecto (por cuanto el Fe^{3+} del medio es el agente oxidante) pero donde la bacteria se adhiere al mineral reducido mediante adhesión a través de la capa de EPS. Sería en esa capa donde la oxidación tiene lugar (Sand y Gehrke, 2006). Además, la capa extracelular sería un medio de adhesión de diferentes especies bacterianas –oxidantes de hierro y oxidantes de sulfuro- que cooperarían metabólicamente durante los procesos de oxidación y lixiviación de los sulfuros metálicos. Además otras bacterias no adheridas al mineral intervendrían en el proceso produciendo más iones férricos, protones e intermediarios de la oxidación de los sulfuros (Vera *et al.*, 2013; Mahmoud *et al.*, 2017) [FIG. 01-7, ABAJO].

[5]
Aplicaciones: La biominería y la biometalurgia

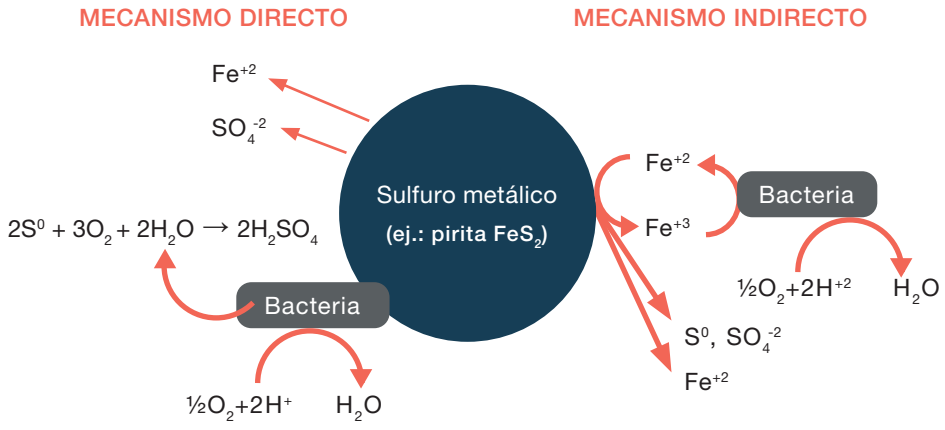
En las páginas precedentes se constata que las bacterias más abundantes en los ríos afectados por los drenajes ácidos de mina en la provincia de Huelva son a su vez las máximas responsables de su extraordinaria magnitud. Estas bacterias han realizado una actividad continua, desde hace millones de años, de oxidación y lixiviación de los materiales incluidos en la faja pirítica, si bien la intensa actividad minera iniciada a mediados del siglo XIX ha elevado los niveles de transporte y deposición de metales pesados hasta cantidades dramáticas. Las bacterias quimiolitotrofas de los ríos ácidos responden así al importante aporte de nutrientes generado por la industria minera que se puede explicar por: (a) el aumento de la superficie de contacto de las piritas expuesta a condiciones oxidantes debido a la exposición al aire y agua, (b) la acumulación al aire libre de escombros y monteras de gossan expuestas a las condiciones climáticas (c) el perforado de pozos y galerías a través de los cuales el oxígeno atmosférico puede circular, (d) el bombeo continuo para reducir el nivel freático y (e) la generación de grandes cantidades de residuos metalúrgicos. En resumen, la actividad minera condujo a un elevado aporte de nutrientes para las bacterias oxidantes de azufre y de hierro, y el resultado de su actividad fue la acidificación de las aguas de drenaje y el transporte de una variedad de metales (favorecido por el pH bajo que aumenta su solubilización) hasta el estuario que conforman los ríos Tinto y Odiel junto a la capital de Huelva. La magnitud de este transporte queda reflejada por los datos que aportan Nieto *et al.* (2007) que señalan los siguientes valores (expresados en toneladas/año) que alcanzan el estuario: Fe, 7.900; Al, 5.800; Zn, 3.500; Cu, 1.700; Mn: 1.600, etc. Los autores destacan un dato que resulta dramático: a escala global, el 37% del zinc y el 15% del cobre disueltos que alcanza los océanos es transportado por los ríos Tinto y Odiel desde la cuenca minera de Huelva. Estos números, sorprendentes, nos deben hacer reflexionar acerca de la importancia de los microorganismos de las aguas ácidas de Huelva que con una "dieta" realmente pobre (S^{2-}, Fe^{2+}, O_2, CO_2, N_2, agua y diversos iones), y a lo largo de millones de años de actividad metabólica son los responsables de la transformación y movilización de ingentes cantidades de metales desde su localización en la faja pirítica del Andévalo onubense hasta el océano.

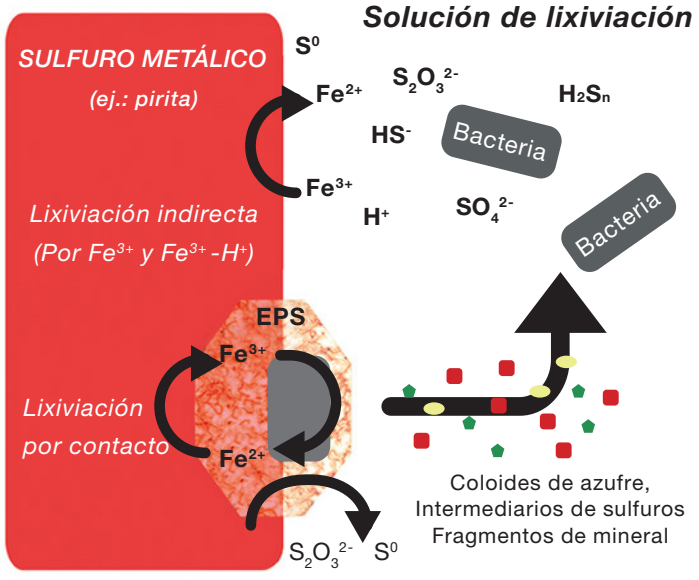
FIGURA 01-7

Mecanismos de biolixiviación directo e indirecto y por contacto/cooperación de *A. Ferrooxidans* y otras bacterias

FUENTE: Basado en Mishra y Rhee, 2014 y Mahmoud *et al.*, 2017, con modificaciones.

En el mecanismo directo, la bacteria oxida los sulfuros metálicos por contacto físico; en el mecanismo indirecto, la bacteria oxida hierro del medio generando Fe^{3+} que oxida al mineral. En el mecanismo por contacto/cooperación hay fases de oxidación que se desarrollan en el seno la matriz extracelular de biofilms bacterianos y fases de cooperación metabólica de diversas bacterias planctónicas que conducen a un mecanismo de lixiviación indirecto.





Sin embargo, y aunque pueda resultar paradójico, el uso controlado de estas bacterias puede reducir el impacto ambiental de la minería y metalurgia de piritas, ser eficaz en su rendimiento incluso económicamente rentable. Nos referimos a la Biominería y a la Biometalurgia. En ambos casos se utiliza el potencial de las bacterias para recuperar metales de interés, o para remediar el impacto ambiental de su acumulación. Concretamente, por Biominería se entiende el conjunto de procesos microbiológicos que se utilizan para obtener metales de interés comercial a partir de los minerales que los contienen. La actividad de las bacterias se explica por dos procesos metabólicos: la biooxidación o conjunto de reacciones catalizadas enzimáticamente que transforman compuestos reducidos en productos oxidados y la biolixiviación, o solubilización de materiales insolubles como consecuencia de la actividad microbiológica. La Biominería es de particular interés cuando se aplica a menas de baja ley o a residuos de actividades mineras (Gang *et al.*, 2017; Johnson, 2018; Katsonen *et al.*, 2018; Pollmann *et al.*, 2018). Por ejemplo, Panda *et al.* (2015) recuerdan que el 20–25% de la producción total de cobre en el mundo se realiza a través de procesos hidrometalúrgicos (biolixiviado-extracción-electrolisis). La lista de empresas biomineras y biometalúrgicas que están actualmente en funcionamiento en el mundo es de alrededor de cincuenta (Banerjee *et al.*, 2017).

Las ventajas de la biominería respecto a la minería tradicional pueden ser resumidas en los siguientes aspectos:

- La biolixiviación es un proceso económico y simple.
- El efluente generado en la biolixiviación es respetuoso con el medio ambiente y no genera una amenaza para éste.
- Es un proceso con un consumo de energético reducido en gran medida debido a que no requiere condiciones de alta presión y temperatura.
- El proceso de biolixiviación es capaz de tratar menas de baja ley.
- El proceso de biolixiviación es específico para cada región y puede emplear microorganismos indígenas.
- El crecimiento en gran escala de los microorganismos es posible con los últimos avances en este campo de investigación.
- La biolixiviación no requiere unas instalaciones tecnológicamente avanzadas.
- El desarrollo de pruebas de biolixiviación en biorreactores o montículos de material es sencillo.
- El coste económico de una planta de biolixiviación es mínimo comparado con el coste de una planta tradicional.

La capacidad biolixiviadora de las bacterias acidófilas depende del sulfuro metálico con el que interactúan, ya que su oxidación procede a través de diferentes intermediarios. Se ha propuesto un mecanismo que implica al tiosulfato ($S_2O_3^{2-}$) para la oxidación de sulfuros metálicos insolubles en medio ácido, como la pirita (FeS_2) o molibdenita (MoS_2), y un proceso que implica a polisulfuros para sulfuros metálicos solubles en medio ácido, como la esfalerita (ZnS), calcopirita (Cu_2S) o galena (PbS) (Rawlings *et al.*, 2003).

En el primer caso se produce un ataque por el ion férrico:

$$FeS_2 + 6\ Fe^{3}+ + 3H_2O \rightarrow S_2O_3^{2-} + 7Fe^{2}+ + 6H^{+}$$
$$S_2O_3^{2-} + 8Fe^{3+} + 5H_2O \rightarrow 2SO_4^{2-} + 8Fe^{2+} + 10H^{+}$$

En el segundo caso, el ataque se debe al ataque combinado de ion férrico y de protones, siendo el azufre elemental el principal intermediario el cual, aunque siendo relativamente estable, puede ser oxidado a sulfato por bacterias que oxidan sulfuros:

$$MS + Fe^{3+} + H+ \rightarrow Me^{2+} + 0{,}5H_2S_n + Fe^{2+}\ (n\ ^3\ 2)$$
$$0{,}5H_2S_n + Fe^{3+} \rightarrow 0{,}125S_8 + Fe^{2+} + H^{+}$$
$$0{,}125S_8 + 1{,}5O_2 + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^{+}$$

Existen dos tecnologías básicas que se usan en biominería: la de pila y la de vertedero o pendiente donde el mineral se acumula al aire libre y se irriga con una solución ácida que contiene bacterias biolixiviadoras; y la de tanque, donde una suspensión de mineral finamente triturado se coloca en un recipiente bajo agitación y aireación permanente [FIGURA 01-8] (Rawlings *et al.*, 2003; Pradhan *et al.*, 2008; Mahmoud *et al.*, 2017).

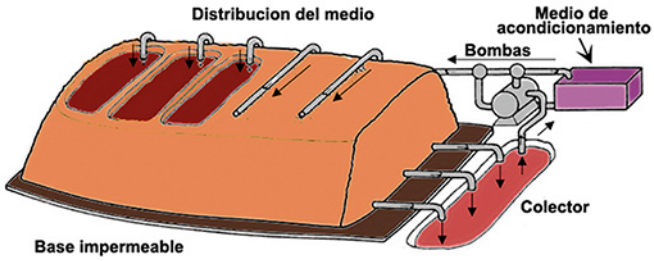
Las aplicaciones comerciales de la biominería son una realidad, sobre todo para la metalurgia del cobre (por ejemplo, a partir de calcopirita de bajo grado) y para la extracción de oro (especialmente en menas de baja ley). En ambos casos existen numerosas industrias en funcionamiento desde los años 80 del pasado siglo que utilizan sistemas de biolixiviado en pila o en tanque (Rawlings *et al.*, 2003; Brierley y Brierley, 2013), aunque sus posibilidades se han extendido a la obtención de otros metales, sea por razones productivas, sea por razones de descontaminación de residuos. En este sentido, las aplicaciones de tecnologías de base bacteriana tienen también el objetivo de eliminar metales tóxicos contenidos en una variedad de residuos de origen industrial. Al respecto, se utilizan técnicas de biolixiviado para recuperar metales de residuos mineros o de minas abandonadas; en los países más industrializados se optimizan procesos de biolixiviación para recuperar metales de residuos electrónicos; se aplican con éxito procesos biometalúrgicos de recuperación a partir de las cenizas derivadas de la incineración de residuos urbanos; el niquel y cobalto, además de otros metales, se está recuperando mediante biolixiviación; incluso metales “raros” como vanadio o radionúclidos pueden ser movilizados por acción bacteriana. Y en muchos casos se usa la especie más abundante en los ríos ácidos de Huelva: *Acidithiobacillus ferrooxidans* [TABLA 01-2] (Fonti *et al.*, 2016; Pollman *et al.*, 2018).

FIGURA
01-8

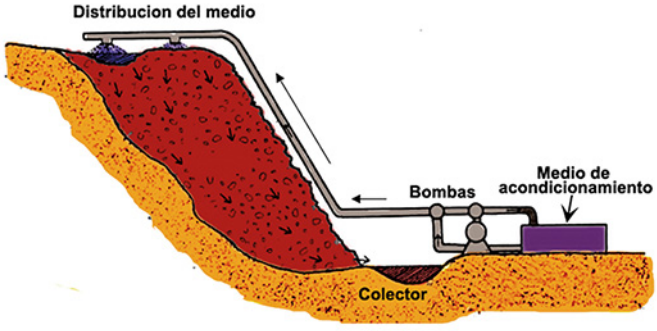
Biominería: tecnologías de lixiviación

FUENTE: Basado en http://www.spaceship-earth.org/rem/naeveke.htm y Mahmoud et al., 2017.

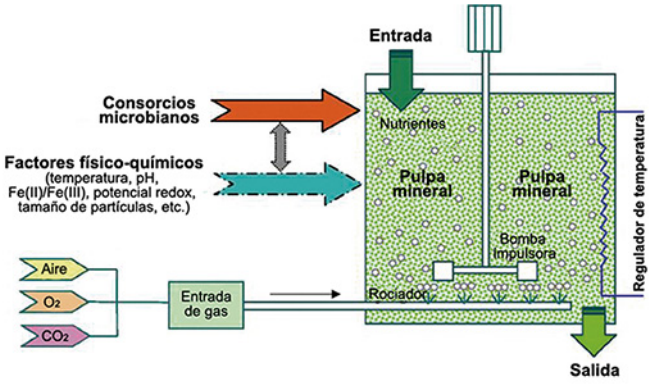
A



B



C



A: Biolixiviación en pila **B:** Biolixiviación en pendiente **C:** Biolixiviación en tanque

TABLA 01-2

Aplicaciones de microorganismos en la recuperación de metales de diversos residuos

FUENTE: Bharadwaj y Ting, 2011

RESIDUO	METAL LIXIVIADO	MICROORGANISMOS
Catalizadores	Al, V, Mo, Ni, Co, Li	*Acidithiobacillus thiooxidans* *Acidithiobacillus ferrooxidans* *Aspergillus niger* [1] *Penicillium simplicissimum*[1]
Chatarra electrónica	Al, Cu, Ni, Pb, Sn, Zn, Au	*Acidithiobacillus ferrooxidans* *Acidithiobacillus thiooxidans* *Aspergillus niger* [1] *Penicillium simplicissimum* [1] *Cromobacterium violaceum* [2] *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* [3]
Residuos sólidos urbanos. Cenizas de incineración	Al, Fe, Mn, Ni, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	*Acidithiobacillus thiooxidans* *Acidithiobacillus ferrooxidans* *Pseudomonas putida*[4] *Bacillus megaterium*[5] *Aspergillus niger* [1] *Acidianus brierleyi* [6]
Pilas y baterías	Li, Co	*Acidithiobacillus spp.*
Filtros sólidos	Cu	*Acidithiobacillus ferrooxidans*
Lodos de aguas residuales	Cu, Mn, Zn, Ni, Cd, Cr, Pb	*Acidithiobacillus thiooxidans*
Lodos de curtiduría	Cr	*Acidithiobacillus thiooxidans*
Residuos de joyería/ Catalizadores de automóviles	Ag, Pt, Au	*Cromobacterium violaceum*[2] *Pseudomonas fluorescens*[4]

1: Hongos
2: Bacteria anaerobia facultativa heterótrofa
3: Bacteria termófila oxidante de azufre
4: Bacterias saprófita del suelo
5: Bacteria del suelo y endófita
6: Archea acidófila y termofílica, oxidante/reductora de azufre

En el caso particular de los drenajes ácidos de mina, con altos contenidos de metales pesados, su exceso puede ser mitigado aplicando tecnologías donde se asocian una variedad de procesos microbiológicos, que hacen uso de bacterias específicas, que realizan procesos de biosorción, es decir de fijación del metal a la pared celular; de bioacumulación en el interior de la bacteria; o de bioprecipita-

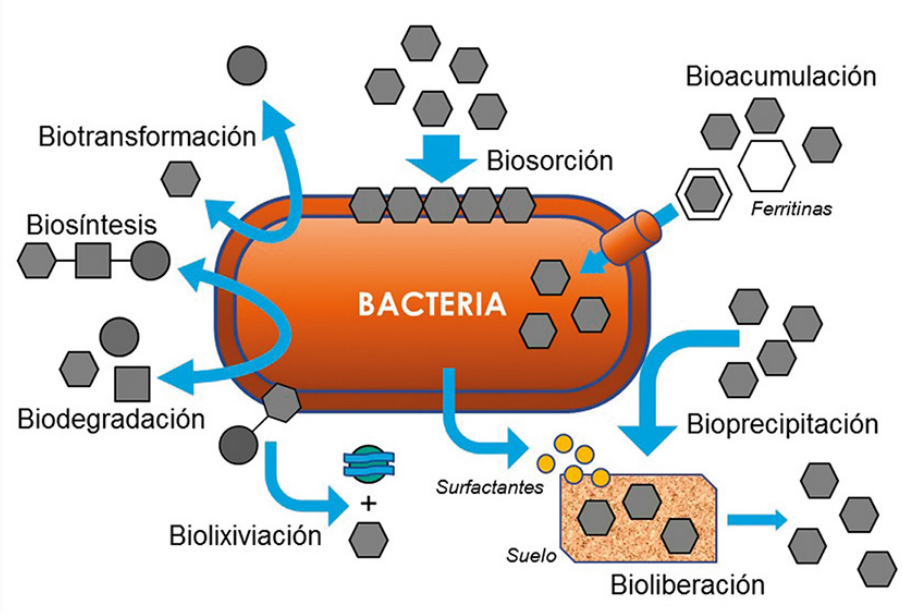
ción como la que realizan la bacterias reductoras de sulfato en ambientes anaerobios y en presencia de materia orgánica [FIGURA 01-9] (Bharadwaj y Ting, 2011; Jerez, 2017).

FIGURA 01-9

Mecanismos de interacción de las bacterias con los metales

FUENTE: Producción propia

Las figuras grises representan compuestos metálicos. La biosorción consiste en la fijación de los metales en la pared celular. La bioacumulación permite el transporte y acumulación de metales en el interior de la bacteria (las ferritinas –hexágonos vacíos- son moléculas quelantes de hierro). La bioprecipitación se produce por reducción de moléculas oxidadas. La bioliberación y solubilización consiguiente se debe a la actuación de sustancias surfactantes. La biolixiviación es el resultado de un proceso de oxidación que genera moléculas solubles. La biodegradación es un tipo de reacción que libera componentes de compuestos metálicos; el proceso opuesto se denomina biosíntesis. Por último, la biotransformación es el resultado de una o más reacciones redox que modifican el compuesto metálico original.



Por otra parte, la eficacia de las bacterias en procesos biotecnológicos puede ser mejorada aplicando técnicas de manipulación genética y de metagenómica o crear librerías de expresión génica para identificar actividades enzimáticas específicas de aplicación en las bioindustrias. Por ejemplo, se han transferido horizontalmente genes de resistencia a arsénico a bacterias tales como *A. caldus* y *L. ferriphilum*, con el resultado de una elevada resistencia al arsénico en biorreactores que permiten recuperar oro contenido en arsenopiritas (Dumbar 2017). Hay varias razones debidas a las cualidades singulares del genoma de las bacterias extremófilas que oxidan sulfuros metálicos. Una de ellas es su extraordinaria tolerancia a concentraciones muy elevadas de metales pesados. Por ejemplo, y para el caso del cobre, las bacterias más

abundantes en los ríos ácidos de Huelva, *Acidithiobacillus ferrooxidans* y *Leptospirillum ferrooxidans,* son capaces de tolerar hasta 800 y 393 mM de cobre, respectivamente, antes de inhibir su crecimiento. Para ello desarrollan determinados mecanismos de resistencia que incluye la presencia de genes específicos de tolerancia, chaperones de cobre, sistemas muy eficaces de defensa frente al estrés oxidativo o polímeros de polifosfato inorgánico que actúan secuestrando los cationes de cobre (Orell *et al.*, 2010).

[6]
Experimentando con consorcios bacterianos en procesos biometalúrgicos

A pesar de las posibilidades de las bacterias quimiolitotrofas de los ríos ácidos de Huelva en estudios de recuperación de metales de residuos industriales, sorprende que no haya registros de aplicaciones en biominería o biometalurgia al respecto, a pesar de ser tecnologías ampliamente usadas en el mundo (Johnson, 2018; Sasson y Malpica, 2018). Como en todo proceso de investigación que trata de resolver un problema, en primer lugar hay que definir el problema: ¿en qué consiste?; seguidamente se plantea un objetivo: ¿qué se pretende conseguir?; y después se diseña un procedimiento para tratar alcanzar el objetivo: ¿cómo puede hacerse?

FIGURA 01-10

Escorias del procesado pirometalúrgico de minerales de cobre

FOTOGRAFÍA: F. Córdoba



Como residuo del procedimiento pirometalúrgico que permite la obtención de cobre metálico a partir de concentrados minerales de cobre se producen unas escorias [FIGURA 01-10], producto de la fusión de los concentrados formadas por fundamentalmente por fayalita (silicato de hierro, $(Fe^{2+})_2SiO_4$) y magnetita (óxido ferroso-férrico, $Fe^{2+}Fe^{3+}2O_4$) que aún incluyen restos de sulfuros metálicos (mata) (Gorai *et al.*, 2003). Aunque la cantidad de metales, como cobre, incluida en las escorias puede ser significativa, las dificultades de su extracción por métodos tradicionales le restan interés por su baja rentabilidad. Dado que a escala mundial se producen alrededor de 24,6 millones de toneladas de escoria anualmente (Gorai *et al.*, 2003), en los últimos años se ha prestado una mayor atención a una gestión sostenible que estimulen la investigación para la reutilización de residuos (Potysz *et al.*, 2015). Frecuentemente, las escorias son almacenadas en vertederos autorizados bajo el criterio de que son un pasivo ambiental, pero es habitual que se destinen para fabricar hormigón y cementos, además de otras aplicaciones (Dey *et al.*, 2014; Nataraja *et al.*, 2014).

Sin embargo, las escorias pueden representar un problema ambiental dado que lentamente se puede producir un biolixiviado de las mismas y una liberación al medio de los metales que contienen (Harish *et al.*, 2011). Por consiguiente, la actividad de los microbios responsables del lixiviado de metales, un proceso de biometeorización, podrías contribuir a una movilización de metales potencialmente tóxicos (Potysz *et al.*, 2015).

Si tratar de mitigar un problema ambiental ya es por sí mismo un objetivo encomiable, la recuperación de metales de las escorias representaría además una posibilidad de rentabilidad comercial y se ajustaría al objetivo, que anteriormente hemos mencionado, de reciclar materiales industriales mediante su procesado por bacterias u otros microorganismos. Al respecto, Yang *et al.* (2010) proponen biolixiviados selectivos para recuperar el cobre de las escorias de fundición, un papel que podrían desempeñar los consorcios bacterianos típicos de las aguas ácidas de los ríos de Huelva.

Por ello, la primera fase para alcanzar el objetivo previsto (recuperar cobre de las escorias) consiste en recolectar consorcios bacterianos de aguas ácidas superficiales donde abundan las bacterias que oxidan hierro [FIGURA 01-11], ya que las comunidades bacterianas, preferiblemente nativas, suelen ser más eficaces que las especies individuales para realizar procesos de oxidación y lixiviación sobre materiales también locales (Bryan, 2011; Latorre *et al.*, 2016). Los muestreos deben ser realizados en diferentes localizaciones ya que la proporción de las poblaciones microbianas puede ser diferente así como su eficacia biolixiviadora.

Las muestras se trasladan al laboratorio donde son inoculadas en una medio de cultivo que contiene nutrientes inorgánicos y, en particular, una fuente de hierro reducido (Silverman y Lundgren, 1959). Tras unos días de cultivo con agitación permanente, para oxigenar adecuadamente la muestra, y a unos 30ºC, la actividad metabólica de las bacterias será conspicua porque el medio adquirirá un fuerte color rojo [FIGURA 01-12].

La presencia de bacterias en el medio y su crecimiento deben ser constatados mediante análisis microscópico y cultivos en medios selectivos [FIGURA 01-13]. Esta fase representa un periodo de adaptación de las bacterias, conveniente antes de exponer el material de ensayo, en este caso las escorias, a su actividad (Panda *et al.*, 2015; Kaksonen *et al.*, 2018). La adaptación se puede ser realizar mediante cultivos sucesivos donde cada cultivo proporciona el inóculo para el subsiguiente. Durante este periodo de adaptación se comprueban parámetros tales como el pH, conductividad y concentración de Fe^{3+}/Fe^{2+}, además del crecimiento bacteriano.

FIGURA
01-11

Recolectando bacterias acidófilas

FOTOGRAFÍA: F. Córdoba

A la izquierda: en el río Tinto, junto al Embalse de las Marismillas; a la derecha, en la ribera de Agustín, cerca de Alosno.



FIGURA
01-12

Cultivos de bacterias acidófilas en medio 9k suplementado con hierro

FOTOGRAFÍA: F. Córdoba / P. Borrego

Los cultivos se realizaron durante 5 días, a 30ºC en agitador orbital (100 rpm). El inóculo procede de las aguas ácidas (pH 2,0) de la ribera de Agustín (Huelva).

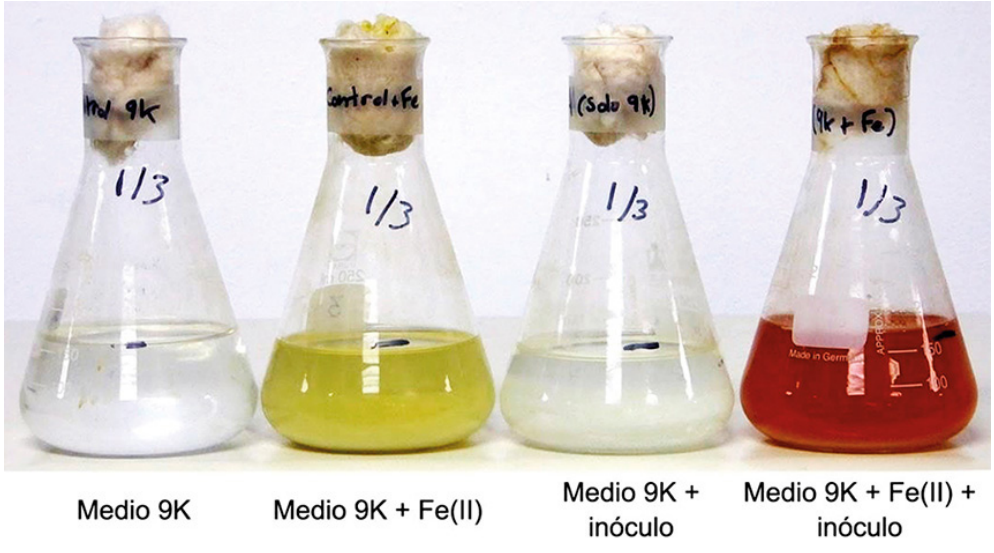
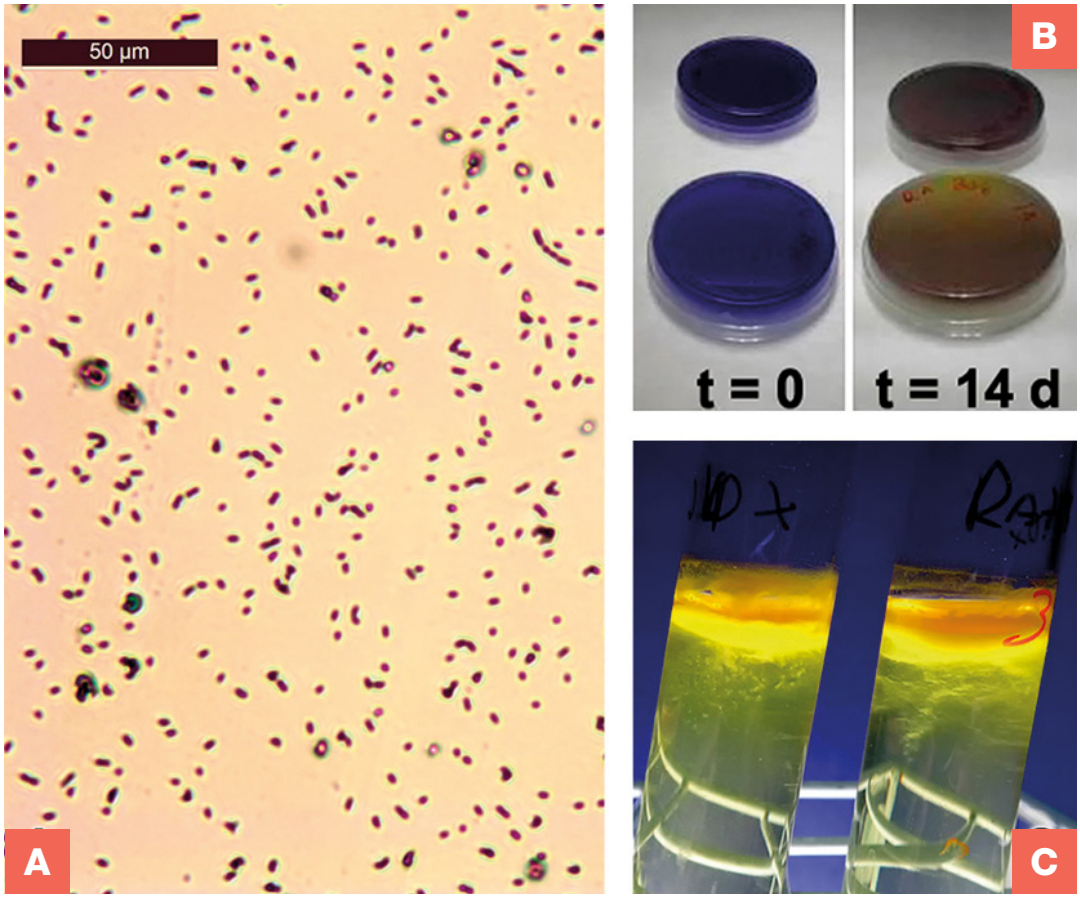


FIGURA 01-13

Demostración de la presencia de bacterias aerobias acidófilas en los medios de cultivo

FOTOGRAFÍA: F. Córdoba / P. Borrego



A: bacterias teñidas mediante el método de Gram bajo el microscopio
B: cultivos en medio para bacterias acidófilas con un indicador de pH: tras 14 días de incubación el cambio de color es conspicuo.
C: cultivo en medio Glicolato: sólo se observan bacterias aerobias; la fluorescencia se debe a la presencia de Resazurina en el medio.

Transcurrido el periodo de adaptación, se realiza un nuevo cultivo donde al medio (sin hierro) se le añaden las escorias (como única fuente de hierro) y potestativamente azufre, dado que los consorcios bacterianos hiperacidófilos contienen especies que oxidan azufre y colaboran metabólicamente con las que oxidan hierro. Naturalmente hay que mantener rigurosos controles, especialmente sobre la evolución de las escorias en ausencia de bacterias, lo cual se consigue mediante filtración en condiciones estériles del inóculo.

A continuación se muestran los resultados preliminares de la biolixiviación de escorias de cobre tras un periodo de 14-28 días de cultivo en las condiciones descritas. Los datos que se muestran se corresponden a trabajos, aún en curso de realización, de Pedro Borrego y de quien firma este capítulo.

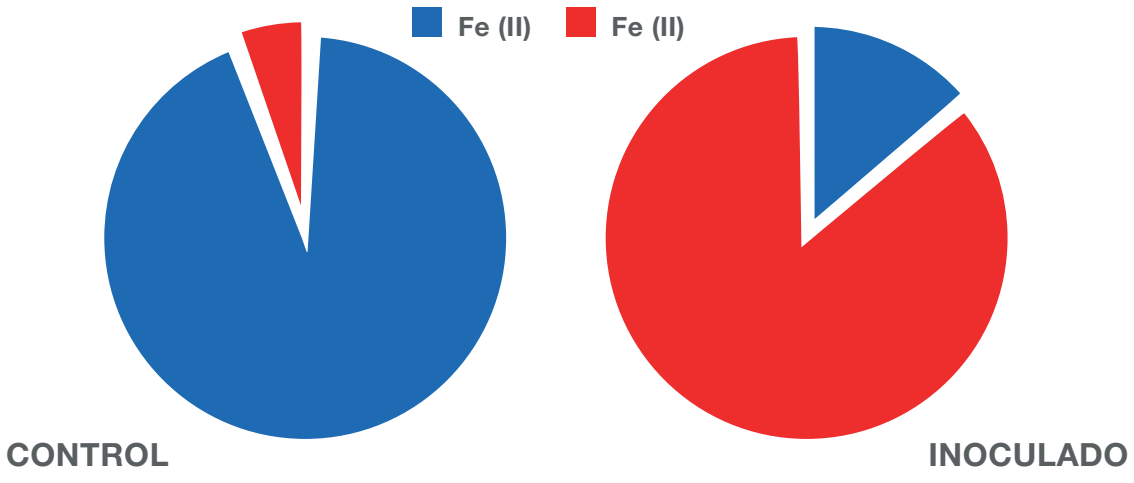
Tras un periodo de 18 días de incubación a 30°C y con un pH inicial de 2,5, se registraron unos cambios notables en el medio de cultivo y en las propias escorias. En primer lugar, el valor de pH descendió, como cabe esperar durante el proceso de oxidación catalizado por bacterias quimiolitotrofas. Simultáneamente la conductividad aumentó a medida que se va produciendo la lixiviación. Y el potencial redox se hizo más oxidante, al ir oxidándose el hierro. Entretanto el cobre y el hierro, procedente de las escorias, aumentaron su concentración en el medio de cultivo. Es notable el extraordinario cambio de la proporción el Fe^{2+}/Fe^{3+} lo que demuestra que las bacterias han causado la oxidación del hierro contenido en las escorias [FIGURA 01-14]. Por otra parte, y dado que las escorias son la única

FIGURA 01-14

Resultados de la biolixiviación de escorias de cobre

Se muestran los datos analíticos del medio de cultivo tras 18 días de incubación. La concentración de hierro y cobre se expresa en mg/l; la conductividad en mS/cm; y el potencial redox en mV.

Parámetros	Control	Inoculado	Δ%
COBRE	2,8	43,3	93,5
HIERRO	168,0	735,5	77,2
pH	4,02	2,09	-52,0
CONDUCTIVIDAD	8,24	11,17	26,2
POTENCIAL REDOX	207	633	67,3



fuente de hierro y cobre, es evidente que los metales medidos en el medio proceden de las escorias (el inóculo las muestras sólo aporta 0,02 mg/l de hierro). Por tanto, cabe esperar que las escorias hayan disminuido su tamaño y que estén erosionadas por acción de las bacterias.

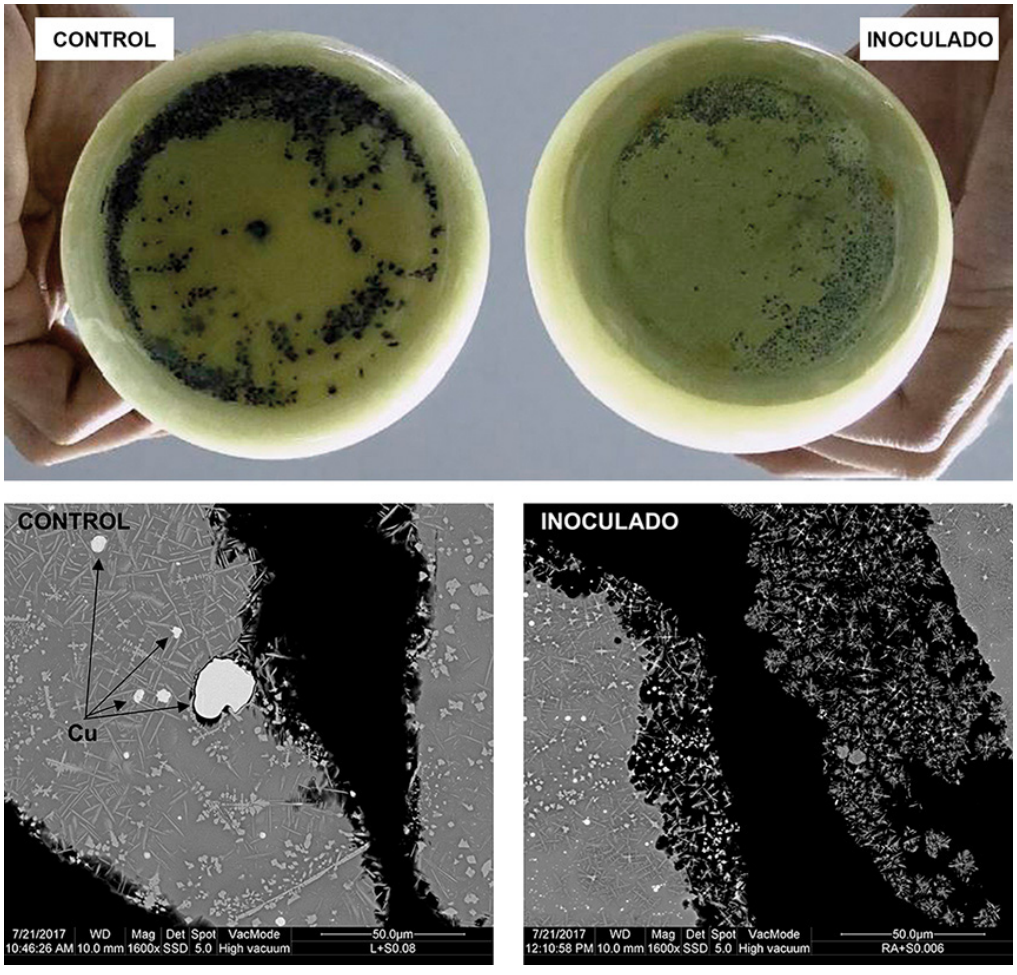
Por último, tanto mediante la observación a simple vista como a través del microscopio electrónico de barrido (SEM) se observan cambios notables en las escorias [FIG. 01-15]. En el primer caso, se aprecia que el tamaño de las escorias ha descendido sensiblemente. Cuando se realiza la observación bajo el

FIGURA
01-15

Observación de las escorias a simple vista (arriba) y mediante SEM (abajo)

FOTOGRAFÍA: F. Córdoba y P. Borrego -arriba-; M. Bacedoni –abajo-

A la izquierda se muestran los controles (incubación sin bacterias) y la derecha las escorias tratadas con bacterias durante 18 días de incubación.



SEM, es notable que las escorias tratadas con las bacterias tienen un borde mucho más erosionado que las del control (sólo expuestas al medio de cultivo en ausencia de bacterias) –las fotografías que se muestran están a la misma escala-. Además en las escorias no tratadas se observan grandes inclusiones de cobre, cuyo tamaño es muy inferior en las tratadas con bacterias. Estas imágenes demuestran que las escorias se van biolixiviando en presencia de bacterias, y por consiguiente, disminuyendo su tamaño y liberando al medio su contenido en cobre y en hierro.

[7]
Conclusiones

En las páginas precedentes hemos comprobado cómo la geología y la biología han determinado la historia y la geografía de la provincia de Huelva. A un proceso que se inició hace millones de años, la formación de la faja pirítica, le sucedió la utilización de sus materiales, como fuente nutritiva, por una variedad de bacterias que, definidas por su metabolismo singular, fueron lixiviando los minerales sulfurosos y tiñendo las aguas de sus ríos de un color rojo a la vez que se acidificaban, lo que facilitó el transporte de numerosos metales hasta su desembocadura en el Atlántico. Este proceso natural se vio intensificado por la explotación histórica de sus recursos minerales, por lo que la acción antropogénica fue a la vez fuente de riqueza para la provincia, pero también la causa de un problema ambiental de enorme magnitud: el Drenaje Ácido de Mina. Sin embargo, y como una paradoja, el conocimiento exhaustivo del metabolismo de dichas bacterias nos está proporcionando nuevas oportunidades de relación con el medio, mediante el desarrollo de biotecnologías que inciden en el desarrollo sostenible y en la conservación del medio ambiente y de su diversidad.

[8]
Agradecimientos

A Pedro Borrego, corresponsable de los estudios con escorias. A María Bacedoni por los análisis de las escorias bajo el microscopio electrónico. Y al Dr. Ignacio Moreno Ventas-Bravo por proporcionarnos las escorias y asesorarnos sobre la metalurgia del cobre.

[9]
Bibliografía

Aguilera A (2013). *Eukaryotic Organisms in Extreme Acidic Environments, the Río Tinto Case.* Life 3: 363-374.

Amils R (2016). *Lessons learned from thirty years of geomicrobiological studies of Río Tinto*. Research in Microbiology. 167: 539-545.

- Banerjee I, Burrell B, Reed C, West Ac, Banta S (2017). *Metals and minerals as a biotechnology feedstock: engineering biomining microbiology for bioenergy applications.* Current Opinion in Biotechnology 45:144-155
- Bellenberg S, Díaz M, Noel N, Sand W, Poetsch A, Guiliani N, Vera M (2014). *Biofilm formation, communication and interactions of leaching bacteria during colonization of pyrite and sulfur surfaces.* Research in Microbiology 165: 773-781
- Brierley CL, Brierley JA (2013). *Progress in bioleaching: part B: applications of microbial processes by the minerals industries*. Applied Microbiology and Biotechnology 97: 7543-7552
- Bryan CG (2011) *The efficiency of indigenous and designed consortia in bioleaching stirred tank reactors*. Miner. Eng. 24: 1149-1156
- Bryan CG, Hallberg KB, Johnson DB (2006) *Mobilisation of metals in mineral tailings at the abandoned São Domingos copper mine (Portugal) by indigenous acidophilic bacteria*. Hydrometallurgy 83: 184-194.
- Chandraprabha MN, Natarajan KA (2013) *Role of outer membrane exopolymers of Acidithiobacillus ferrooxidans in adsorption of cells onto pyrite and chalcopyrite.* International Journal of Mineral Processing 123: 152-157.
- Dey A, Dev D, Saha P (2014). *Use of copper slag as sustainable aggregate*. ICSCI-ASCE India Section, pp: 617- 624.
- Esparza M, Cárdenas JC, Bowien B, Jedlick E, Holmes DS (2010) *Genes and pathways for CO2 fixation in the obligate, chemolithoautotrophic acidophile, Acidithiobacillus ferrooxidans, carbon fixation in A. ferrooxidans*. BMC Microbiology 10: 229-241
- Fonti v, Dell'anno A, Beolchini f (2016). *Does bioleaching represent a biotechnological strategy for remediation of contaminated sediments?* Science of the Total Environment 563–564: 302-319
- Gang M, Li MM, Zeng J, Liu XX, Zhu JY, Hu YH, Qiu GZ (2017). Acidithiobacillus ferrooxidans enhanced heavy metals immobilization efficiency in acidic aqueous system through bio-mediated coprecipitation. Trans. Nonferrous Met. Soc. China 27: 1156-1164
- García-Moyano A, González-Toril E, Aguilera A, Amils R (2007). *Prokaryotic community composition and ecology of floating macroscopic filaments from an extreme acidic environment, Río Tinto (SW, Spain).* Systematic and Applied Microbiology 30: 601-614
- Gómez-Ortiz D, Fernández-Remolar DC, Granda, Quesada C, Granda T, Prieto-Ballesteros O, Molina A, Amils R (2004) *Identification of the subsurface sulfide bodies responsible for acidity in Río Tinto sourcewater, Spain*. Earth and Planetary Science Letters 391: 36-41.
- González-Toril E, Santofimia E, López-Pamo E, García-Moyano A, Aguilera A, Amils R (2014). *Comparative microbial ecology of the water column of an extreme acidic pit lake, Nuestra Señora del Carmen, and the Río Tinto basin (Iberian Pyrite Belt)*. International Microbiology 17: 225-233.
- Gorai B, Jana RK, Premchand (2003) *Characteristics and utilization of copper slag - A review.* Resources, Conservation and Recycling. 39: 299-313.
- Grande JA, Aroba J, Andújar JM, Gómez T, De La Torre ML, Borrego J; Romero S; Barranco C.; Santisteban M (2011) *Tinto versus Odiel: Two AMD polluted rivers and an unresolved issue. An artificial intelligence approach*. Water Resources Management. 25: 3575-3594.
- Harish V, Sreepada RA, Suryavanshi U, Shanmuganthan P, Sumathy A (2011). *Assessing the effect of leachate of copper slag from the ISASMELT process on cell growth and proximate components in microalgae (Chlorella vulgaris Beijerinck*). Toxicol. Env. Chem. 93: 1399-1412.
- Huang LN, Kuang JL, Shu WS (2016). *Microbial ecology and evolution in the acid mine drainage model system*. Trends in Microbiology 24: 581-593

- Jerez CA (2017). *Biomining of metals: how to access and exploit natural resource sustainably*. Microbial Biotechnology, 10: 1191-1193.
- Jia Y, Tan Q, Sun H, Zhang Y, Gao H, Ruan R (2018). *Sulfide mineral dissolution microbes: Community structure and function in industrial bioleaching heaps*. Green Energy & Environment xx: 1-9.
- Johnson DB (2018). *The evolution, current status, and future prospects of using biotechnologies in the mineral extraction and metal recovery sectors*. Minerals 8: 343-357.
- Kaksonen AH, Särkijärvi S, Puhakka JA, Peuraniemi E, Junnikkala S, Tuovinen OH. (2016). *Chemical and bacterial leaching of metals from a smelter slag in acid solutions*. Hydrometallurgy.159: 46-53.
- Kocaman AT, Cemek M, Edwards KJ (2016). *Kinetics of pyrite, pyrrhotite and chalcopyrite dissolution by Acidithiobacillus ferrooxidans.* Canadian Journal of Microbiology 1-39
- Kucera J, Pakostova E, Lochman J, Janiczek O, Mandl M (2016). *Are there multiple mechanisms of anaerobic sulfur oxidation with ferric ions in Acidithiobacillus ferrooxidans?* Research in Microbiology 167: 357- 366
- Latorre M, Cortés MP, Travisany D, Maass A (2016) *The bioleaching potential of a bacterial consortium.* Bioresource Technology 218: 659-666
- Liu C, Jia Y, Sun H, Tan Q, Niu X, Leng X, Ruan R (2017) *Limited role of sessile acidophiles in pyrite oxidation below redox potential of 650 mV.* Scientific Reports 7: 1-8
- Mackintosh ME (1978) *Nitrogen Fixation by Thiobacillus ferrooxidans*. Journal of General Microbiology 105: 215-218
- Madigan MT, Martinko JM, Bender KS, Buckley DH, Stahl DA (2015). *Brock biology of microorganisms* (Fourteenth edition.). Boston: Pearson.
- Mahmoud A, Cézac P, Hoadley AFA, Contamine F, D'hugues P (2017). *A review of sulfide minerals microbially assisted leaching in stirred tank reactors*. International Biodeterioration & Biodegradation 119: 118- 146.
- Márquez-García B, Córdoba F (2010). *Antioxidative system in wild populations of Erica andevalensis.* Environmental and Experimental Botany, 68: 58-65.
- Mishra D, Rhee YH (2014). *Microbial leaching of metals from solid industrial wastes.* Journal of Microbiology 52: 1-7.
- Mishra S, Panda S, Pradhan N, Biswal S, Sukla LB, Mishra BK (2015). *Microbe–mineral interactions: exploring avenues towards development of a sustainable microbial technology for coal beneficiation*. En: Environmental Microbial Biotechnology, Soil Biology 45, pp: 33-52. L.B. Sukla *et al.* (eds.). Springer International Publishing Switzerland.
- Nataraja MC, Chandan GN, Rajeeth TJ (2014). *Concrete mix design using copper slag as fine aggregate*. Proceedings of the 2nd International Conference on Current Trends in Engineering and Management ICCTEM - 2014. 5: 90-99.
- Nieto JM, Sarmiento AM, Olías M, Canovas CR, Riba I, Kalman J, Delvalls A (2007) *Acid mine drainage pollution in the Tinto and Odiel rivers (Iberian Pyrite Belt, SW Spain) and bioavailability of the transported metals to the Huelva Estuary.* Environment International 33: 445-455.
- Norris PR, Murrell JC, Hinson D (1995*). The potential for diazotrophy in iron- and sulfur-oxidizing acidophilic bacteria*. Archives of Microbiology. 164: 294-300.
- Oecd (2006) *Consensus document on information used in the assessment of environmental applications involving Acidithiobacillus*. Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology No. 37, 66 pp.
- Olias M, Nieto JM (2015). *Background conditions and mining pollution throughout history in the río Tinto (SW Spain).* Environments 2: 295–316.

- Orell A, Navarro CA, Arancibia R, Mobarec JC, Jerez CA (2010). *Life in blue: Copper resistance mechanisms of bacteria and Archaea used in industrial biomining of minerals.* Biotechnology Advances 28: 839- 848.
- Osorio H, Mangold S, Denis Y, Ñancucheo I, Esparza M, Johnson DB, Bonnefoy V, Dopson M, David F, Holmesa S (2013). *Anaerobic sulfur metabolism coupled to dissimilatory iron reduction in the extremophile Acidithiobacillus ferrooxidans.* Applied and Environmental Microbiology 79: 2172–2181.
- Panda S, Mishra S, Srinivasa D, Pradhan N, Mohapatra U, Angadi S, Kanta B (2015) *Extraction of copper from copper slag: Mineralogical insights, physical beneficiation and bioleaching studies*. Korean Journal of Chemical Engineering. 32: 667–676.
- Pearce J, Weber P, Pearce S, Scott P (2016). *Acid and metalliferous drainage contaminant load prediction for operational or legacy mines at closure. Mine Closure*. AB Fourie and M Tibbett (eds). Australian Centre for Geomechanics, Perth. Pp: 663-676.
- Pollmann K, Kutschkea S, Matysa S, Raff J, Hlawacek G, Lederera FL (2018). *Bio-recycling of metals: Recycling of technical products using biological*. Applications Biotechnology Advances 36: 1048-1062.
- Potysz A, Van Hullebusch ED, Kierczak J, Grybos M, Lens PNL, Guibaud G (2015) *Copper Metallurgical Slags – Current Knowledge and Fate: A Review.* Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 45: 2424-2488.
- Pradhan N, Nathsarma KC, Rao KS, Sukla LB, Mishra BK (2008). *Heap bioleaching of chalcopyrite: A review.* Minerals Engineering 21 (2008) 355–365.
- Pretorius IM, Rawlings DE, O'neill EG, Jones WA, Kirby R, Woodss DR (1987). *Nucleotide sequence of the gene encoding the nitrogenase iron protein of Thiobacillus ferrooxidans*. Journal of Bacteriology 169: 367- 370.
- Quatrini R, Johnson DB (2018). *Microbiomes in extremely acidic environments: functionalities and interactions that allow survival and growth of prokaryotes at low pH*. Current Opinion in Microbiology 43:139-147.
- Rawlings DE, Dew D, DU Plessis C (2003). *Biomineralization of metal-containing ores and concentrates.* Trends in Biotechnology 21: 38-44.
- Rohwerder T. Gehrke T, Kinzler K, Sand W (2003). *Bioleaching review part A: Progress in bioleaching: fundamentals and mechanisms of bacterial metal sulfide oxidation.* Appl Microbiol Biotechnol (2003) 63: 239–248.
- Sánchez-España J, López-Pamo E, Santofimia E, Aduvire O, Andrés JR, Martín JA (2005). *The Tintillo acidic river (Rio Tinto mines, Huelva, Spain): an example of extreme environmental impact of pyritic mine wastes on the environment or an exceptional site to study acid-sulphate mine drainage systems?* Proceedings Volume of the Securing the Future International Conference on Mining, Metals and the Environment, Skellefteä, Sweden. I: 278-287.
- Sand W, Gehrke T (2006) *Extracellular polymeric substances mediate bioleaching/biocorrosion via interfacial processes involvoing iron(III) ions and acidophilic bacteria.* Res. Microbiol. 157: 49-56.
- Santofimia E, González-Toril E, López-Pamo E, Gomariz M, Amils R, Aguilera A (2013). *Microbial diversity and its relationship to physicochemical characteristics of the water in two extreme acidic pit lakes from the Iberian Pyrite Belt (SW Spain).* PLoS One 8, e66746.
- Sarmiento AM, Bonnailb E, Nieto JM, Delvalls A (2017) *Preliminary results of ecotoxicological assessment of an Acid Mine Drainage (AMD) Passive Treatment System testing water quality of depurated lixiviates.* Procedia Earth and Planetary Science 17: 269-272.
- Sasson A, Malpica C. (2018). *Bioeconomy in Latin America*. New Biotechnology 40: 40-45.
- Silverman MP, Lundgren D.G. (1959). *Studies on the chemoautotrophic iron bacterium Ferrobacillus ferrooxidans II. : Manometric Studies*. Journal of Bacteriology. 78: 326-331.

- Starosvetsky J, Zukerman U, Armon RH (2013). *A simple medium modification for isolation, growth and enumeration of Acidithiobacillus thiooxidans (syn. Thiobacillus thiooxidans) from water samples*. Journal of Microbiological Methods 92: 178-182.
- Tornos F (2008) *La Geología y Metalogenia de la Faja Pirítica Ibérica*. MACLA 10: 13-23.
- Tornos F; López-Pamo E, Sánchez España FJ (2009). *The Iberian Pyrite Belt. In: Spanish geological frameworks and geosites. An approach to Spanish geological heritage of international relevance.* A. García-Cortés, Ed., IGME, Madrid, 56-64.
- Tu Z, Guo C, Zhang T, Lu G, Wan J, Liao C, Dang Z (2017). *Investigation of intermediate sulfur species during pyrite oxidation in the presence and absence of Acidithiobacillus ferrooxidans.* Hydrometallurgy 167: 58- 65
- Valdés J, Pedroso I, Quatrini R, Dodson RJ, Tettelin H, Blake R, Eisen JA, Holmes DS (2008). *Acidithiobacillus ferrooxidans metabolism: from genome sequence to industrial applications.* BMC Genomics 9: 597-621.
- Velasco F, Herrero JM, Suárez S, Yusta I, Alvaro A, Tornos F (2013). *Super-gene features and evolution of gossans capping massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite Belt*. Ore Geol.Rev.53:181-203.
- Vera M, Schippers A, Sand W (2013). *Progress in bioleaching: fundamentals and mechanisms of bacterial metal sulfide oxidation-Part AA.* Microbiol. Biotechnol. 97: 7529-7541.
- Wang J, Salem DR, Sani RK (2019). *Extremophilic exopolysaccharides: A review and new perspectives on engineering strategies and applications*. Carbohydrate Polymers 205: 8-26.
- Yang Z, Rui-Lin M, Wang-Dong N, Hui W. (2010) *Selective leaching of base metals from copper smelter slag.* Hydrometallurgy 103: 25-29.
- Zhu J, Li Q, Jiao W, Jiang H, Sand W, Xia J, Liu X, Qin W, Qiu G, Hu Y, Chai L. (2012). *Adhesion forces between cells of Acidithiobacillus ferrooxidans, Acidithiobacillus thiooxidans or Leptospirillum ferrooxidans and chalcopyrite. Colloids and Surfaces B.* Biointerfaces 94: 95-100



02

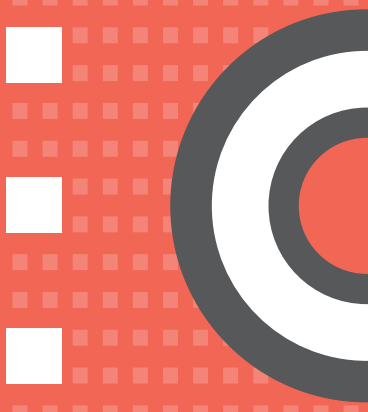
Una microalga de río Tinto que aporta beneficios para la salud

Francisco J. Navarro Roldán *

Área de Biología Celular. Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales-Centro de Investigación RENSMA. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España.

* Corresponding author | Dr. Francisco Navarro Roldán || fnavarro@dbasp.uhu.es || fnavarro.uhu@gmail.com

Tel.: +34 959 21 98 80 || Fax: +34 959 21 94 67



Una microalga de río Tinto que aporta beneficios para la salud

Francisco J. Navarro Roldán

RESUMEN

Las microalgas se consideran interesantes fuentes naturales de moléculas valiosas, muchas de las cuales presentan actividades biológicas con aplicaciones en la salud humana, como antiinflamatorios, antitumorales y antibióticos. En el presente capítulo evaluamos la capacidad antimicrobiana de algunos extractos obtenidos a partir de la microalga *Coccomyxa onubensis* (*C. onubensis*), un microorganismo extremófilo aislado de drenajes ácidos de la zona minera del río Tinto (Huelva, España). Así mismo la biomasa de esta microalga es rica en proteínas, lípidos, hidratos de carbono, antioxidantes y vitaminas, y por lo tanto su posibilidad de servir como alimento para animales también ha sido estudiada por nuestro equipo de investigación.

Los resultados muestran que la microalga produce compuestos con actividad antibacteriana y que la biosíntesis de este tipo de compuestos se lleva a cabo en condiciones de pH muy bajo y en un entorno altamente oxidativo, bajo las cuales la vida apenas es posible. Por su parte, como suplemento nutricional todos los resultados apoyan que la biomasa de *C. onubensis* puede ser un suplemento seguro en la dieta y tiene las propiedades nutricionales adecuadas de los alimentos funcionales.

PALABRAS CLAVE

Microalgas, Nutracéuticos, *Coccomixa*, Antimicrobianos.



Cauce alto del río Tinto

FOTOGRAFÍA: Francisco Navarro

[1]
Río Tinto, un entorno controvertido

El río Tinto es un río costero del sur de España, de unos 100 Km de longitud, que discurre a lo largo de la provincia de Huelva. Sus aguas, de color rojizo, llevan en disolución gran cantidad de metales pesados (hierro, cobre, cadmio, manganeso, etc.), lo que junto a su pH extremadamente ácido (entre 1.7 y 2.7), lo convierten (*a priori*) en un entorno extremadamente hostil para la vida. Tanto, que ha sido estudiado por la NASA debido a su similitud con las condiciones del planeta Marte. En este río no hay peces ni anfibios pero sin embargo, en sus aguas viven pequeños microorganismos que se han sabido adaptar a ese ambiente extremo y que en su conjunto se les denomina **"organismos extremófilos"**. Expertos de la NASA han comprobado que este río contiene centenares de miles de bacterias, hongos, algas y protozoos que logran desarrollarse en un ambiente hostil desde hace 500.000 años (https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Tinto).

Estas condiciones tan extremas han sido provocadas por la actividad de unas bacterias capaces de obtener energía a partir del sustrato de pirita que abunda en el subsuelo de dicho río. A estas bacterias se les denomina genéricamente *quimiolitotrofos* (capaces de crecer en medios estrictamente minerales y en ausencia de luz, que obtienen la energía por oxidación de compuestos inorgánicos, químicamente reducidos) y concretamente lo que hacen para vivir es oxidar dicho mineral de pirita, constituido por sulfuro de hierro, generando entre otros elementos, ácido sulfúrico y óxido férrico, que aportan al río Tinto sus propiedades de color y acidez tan características (González-Toril *et al.,* 2004).

Junto a las bacterias (organismos procariotas) también tienen una relevancia importante las microalgas (organismos eucariotas) que representan aproximadamente un 60% de la biomasa del río (Forján *et al.,* 2014). Entre ellas cabe destacar las diatomeas, euglenofitas, clorofitas unicelulares y algas rojas unicelulares (Amaral *et al.,* 2002). Estos microorganismos extremófilos, a lo largo de esos miles de años, han desarrollado mecanismos biológicos de adaptación para hacer frente a las altas concentraciones de metales disueltos en el agua y proteger su metabolismo y estructuras celulares, y han sido estos mecanismos los que han dado lugar a la síntesis de multitud de biomoléculas de interés comercial.

La primera referencia escrita del empleo de microalgas para la alimentación humana, data de hace más de 2000 años en China, cuyos pobladores usaron *Nostoc* para sobrevivir durante periodos de hambruna (Spolaore *et al.,* 2006). Además de *Nostoc*, otras especies comestibles como las cianobacterias *Spirulina* y *Aphanizomenon*, se usaron como alimento durante muchos siglos en Asia, África y México (Jensen *et al.,* 2001; Olaizola, 2003). En 1521, Bernal Díaz del Castillo, expedicionario español que participó en la conquista de México, describe la preparación de un légamo de Spirulina, que los indios nativos ingerían en su dieta.

La primera documentación del cultivo intencionado de un alga se remonta a 1640 en Japón. Se trata del alga "Nori", término japonés usado para referirse a variedades comestibles de alga marina de las diversas especies de alga roja *Porphyra*, con la que generalmente se enrolla el sushi. Aproximadamente en el mismo periodo, se inició la recolección de diversas especies de *Gracilaria* para obtener un producto similar al agar (Pulz y Gross, 2004). En el mundo occidental, el aprovechamiento industrial de las algas y microalgas se inició en el siglo XVIII para extraer de ellas sosa, yodo y otros compuestos químicos. En este momento comenzaron los intentos para poder cultivar las algas pardas *Laminaria*, *Macrocystis* y *Fucus* en áreas específicas destinadas a dicho fin.

FIGURA 02-2

Buzo de la empresa gallega "Porto-Muiños" recolectando espagueti de mar *(Himanthalia elongata).*

FUENTE: http://www.expansion.com/pymes/2016/04/13/5707f764e2704e9c1b8b45a5.html



A partir de 1940, como consecuencia de la II Guerra Mundial, la utilización de las microalgas como alimento vivo en acuicultura comenzó a adquirir cada vez más importancia. Los científicos alemanes comenzaron a cultivar microalgas de forma masiva con el objeto de obtener lípidos y proteínas. En estos años el estudio de las algas y su uso comercial se desarrolló de forma muy rápida, comenzado en Alemania y extendiéndose luego a los Estados Unidos, Israel, Japón e Italia, con el fin de utilizar biomasa de algas para producir proteínas y grasas para la nutrición humana (Forján *et al.,* 2014). A partir de estas fechas comienza a reconocerse a la biomasa de algas como un suplemento alimentario de gran calidad que podría utilizarse en la nutrición humana, dados los datos estadísticos que reflejaban el aumento de la población mundial y las predicciones realizadas por expertos sobre el insuficiente suplemento de proteínas en el futuro (Spolaore *et al.,* 2006). Posteriormente comenzaron a realizarse estudios basados en la utilización de microalgas para otros fines como en el tratamiento de aguas residuales y en su examen sistemático para la obtención de sustancias biológicamente activas (Borowitzka, 1995).

Hay tres principales razones que explican el gran interés de las microalgas como ingrediente alimentario y como pequeñas fábricas productoras de moléculas de alto valor añadido. En primer lugar, las microalgas son organismos autótrofos, de manera que sólo se requiere para su crecimiento una fuente natural de dióxido de carbono (CO_2), la luz solar como fuente de energía y pequeñas cantidades de N, P, S y otros micronutrientes. En segundo lugar, debido a su menor complejidad biológica, estructural y metabólica, las microalgas tienen una mayor tasa de crecimiento con respecto a las plantas. Por último, es posible contro-

lar la producción y acumulación de compuestos bioactivos en las microalgas a través de la manipulación de las condiciones de cultivo. Estas razones, junto con la enorme diversidad de este grupo biológico y el extraordinario desarrollo de las técnicas de la ingeniería genética, han motivado el gran interés de la comunidad científica por la biotecnología microalgal y su aplicación en sectores médicos y farmacéuticos (Spolaore *et al.,* 2006; Pulz y Gross, 2004). No es sorprendente que la mayoría de los complementos alimenticios, terapéuticos y derivados de productos naturales, se obtengan principalmente de organismos terrestres (plantas, animales y microorganismos), a pesar de que las aguas superficiales contienen, con diferencia, la mayor biodiversidad del planeta. La gran mayoría de los organismos que viven en los mares, océanos y entornos acuáticos terrestres todavía permanecen inexplorados. El estudio de algunos de estos microorganismos con fines farmacéuticos ha demostrado que son fuente de precursores químicos, de nuevos reactivos y compuestos bioactivos con aplicación médica (Blom y Pernthaler, 2010).

Por su composición química, las microalgas son capaces de mejorar, desde el punto de vista nutricional, numerosos preparados alimenticios y ejercer efectos beneficiosos sobre la salud de hombres y animales. El alto contenido en proteína de determinadas especies de microalgas es una de las principales razones para considerarlas como una fuente proteica no convencional. La TABLA 1 muestra una comparación en la composición general de diversos alimentos humanos con diferentes microalgas, pudiéndose equiparar nutricionalmente a la carne, pescado y huevos.

TABLA 02-1

Proteínas microbianas:
Microorganismos frente a la alimentación convencional

FUENTE: Vega *et al.*, 1983, [12]

Los valores se corresponden con el % de peso seco.

Organismo/Alimento	Proteínas	Carbohidratos	Lípidos	Ácidos Nucleicos
Bacterias	47-86	2-36	1-39	1-36
Cianobacterias	36-65	8-20	2-13	3-8
Algas verdes	**46-60**	**2-7**	**1-76**	**3-6**
Hongos	13-61	25-69	1-30	5-13
Huevo	49	3	45	-
Carne	57	2	37	1
Pescado	55	-	37	-
Leche	27	38	30	-
Maíz	10	85	4	-
Trigo	14	84	2	-
Soja	47	41	7	-
Espinaca	12	5	0,3	0,6

Las microalgas son capaces de sintetizar todos los aminoácidos, por lo que pueden proveer de aquellos que resultan esenciales a humanos y animales (Guil-Guerrero *et al.,* 2004). Los carbohidratos de microalgas pueden encontrarse en forma de almidón, glucosa, azúcares y otros polisacáridos y, por su alta digestibilidad, no presentan inconvenientes para que la biomasa forme parte de comidas y alimentos (Becker, 2004). Respecto a los lípidos, la cantidad puede variar entre el 1 y el 70 %, aunque en algunas especies puede llegar al 90 % de peso seco bajo ciertas condiciones (Metting, 1996) y contener altas concentraciones de ácidos grasos poliinsaturados ω3 (omega 3) y ω6 (omega 6), cuya cantidad y proporción relativa se determina por factores nutricionales y medioambientales, entre los que se encuentra la limitación de nitrógeno (Borowitzka, 1988; Tzovenis *et al.,* 2003).

En cuanto a la calidad de las proteínas que contienen, las microalgas presentan una calidad parecida, incluso superior, a los alimentos convencionales, como puede observarse en la TABLA 2, que muestra una comparativa entre el contenido en aminoácidos esenciales de diversos microorganismos y el de algunos alimentos convencionales.

TABLA 02-2

Aminoácidos esenciales: Microbios versus alimentación convencional
(% del total de aminoácidos)

FUENTE: Vega *et al.*, 1983, [12]

Organismo/Alimento	Lys	Thr	Met/Cys	Trp	Ile	Leu	Val	Phe
Saccharomyces cerevisiae	7,7	4,8	1,7	1,0	4,6	7,0	5,3	4,1
Candida lipolitica	7,8	5,4	2,5	1,3	5,3	7,8	5,8	4,8
Scenedesmus obliquus	5,7	5,1	2,3	1,5	3,8	8,4	5,7	5,1
Spirulina maxima	4,6	4,6	1,8	1,4	6,0	8,0	6,5	5,0
Bacterias fotosintéticas	5,8	2,9-4,4	3,0	-	4,2	7,4-7,9	6,5-7,0	4,3-4,6
Huevo	6,4	5,0	5,5	1,6	6,6	8,8	7,4	5,8
Trigo	2,8	2,9	4,0	1,1	3,3	6,7	4,4	4,5
Soja	6,3	3,9	1,3	1,4	5,4	7,7	5,2	4,3

Las microalgas también representan una fuente variada de vitaminas A, B1, B2, B6, B12, C, E, nicotinato, biotina, ácido fólico y ácido pantoténico (Becker, 2004), aunque la concentración en la que se encuentran presenta variaciones en función de los factores medioambientales, los tratamientos de recolección y el método de secado de las células. Por otro lado, las microalgas también son ricas en pigmentos clorofílicos (0,5 % al 1 % en peso seco), en carotenoides y en ficobiliproteínas (Spolaore *et al.,* 2006; Pulz y Gross, 2004).

[2]
Las microalgas son fuente de “nutracéuticos”

Tener una alimentación adecuada es una preocupación cada día más extendida en todos los países europeos (Torres y Francés, 2007). La salud humana está relacionada directamente con el estilo de vida, en el que una dieta equilibrada juega un papel fundamental. Los consumidores están cambiando sus expectativas sobre los alimentos, por lo que la salud y la seguridad son cada vez más importantes en la elección de los alimentos (Layman, 2014). Así comienzan a emerger los alimentos funcionales, constituyendo por tanto, la respuesta a mejorar la salud y reducir el riesgo a contraer enfermedades.

Para este propósito, el alimento suele enriquecerse en componentes biológicamente activos, como minerales, vitaminas, ácidos grasos, fibra dietética, antioxidantes, etc., que mejoran las funciones gastrointestinales, la ingesta de antioxidantes y el metabolismo de los macronutrientes o micronutrientes (Gómez-Ariza *et al.,* 2010). Entre dichos componentes se encuentran los llamados **nutracéuticos** que se pueden definir como un suplemento dietético, presentado en una matriz no alimenticia (píldoras, cápsulas, polvo, etc.), de una sustancia natural bioactiva concentrada, presente usualmente en los alimentos y que, tomada en dosis superior a la existente en dichos alimentos, lo que supuestamente tendría un efecto favorable sobre la salud, mayor que el que podría tener el alimento normal por sí solo. Por tanto, se diferencian claramente de los medicamentos, ya que estos suelen ser productos de síntesis y no tienen por sí solos en su mayoría un origen biológico natural. Por otra parte los nutracéuticos son componentes de los alimentos o partes del mismo, y sobre todo no sólo pueden curar, sino también prevenir ciertas enfermedades, que aportan un beneficio añadido para la salud, por ejemplo un beneficio médico, inclusive para la prevención y el tratamiento de algunas enfermedades (Sloan, 2000).

Un nutracéutico, se puede administrar como tal, en forma concentrada, o ser adicionado a un alimento natural para incrementar en él las propiedades funcionales (Gómez-Ariza *et al.,* 2010). Así, el término nutracéutico se aplica a productos que van desde nutrientes aislados, suplementos dietéticos y extractos de plantas o microalgas, hasta dietas específicas y alimentos procesados como cereales, sopas y preparados bebibles (Ferreira-Montero y Luengo-Fernández, 2007).

Entre todas las propiedades de los nuevos alimentos y alimentos funcionales, ha aumentado dramáticamente el interés general por los antioxidantes en el uso de la alimentación, Por un lado, sirven para evitar la generación de los productos de la oxidación lipídica en los alimentos, que pueden tener serios efectos citotóxicos para los consumidores, y por otro lado, también parecen jugar un papel importante en relación con la salud (Urala y Lähteenmäki, 2007) y, en particular, para frenar el envejecimiento celular. Oxidantes producidos por los productos del metabolismo normal y por los agentes exógenos al organismo, causan daños extensos en el ADN, las proteínas y los lípidos. Este daño (el mismo que el producido por la radiación no ionizante) contribuye de manera importante al envejecimiento y a las enfermedades degenerativas asociadas al envejecimiento como el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, el deterioro del sistema inmunológico, disfunción cerebral y cataratas (Ames *et al.,* 1993; Devasagayam *et al.,* 2004). Se sabe que en los procesos metabólicos que tienen lugar en el cuerpo humano, se producen continuamente de forma natural, especies oxidantes que constituirían una seria amenaza para la salud, de no ser por las defensas naturales a nivel celular contra ellas. Estas defensas, que se basan en sistemas enzimáticos (catalasas, peroxidasas y superóxido dismutasa principalmente), minimizan los efectos tóxicos de los radicales libres

pero van perdiendo efectividad con la edad de las personas de ahí la necesidad (a partir de cierta edad), de recibir un suplemento dietético con las propiedades descritas, por lo que el consumo de niveles adecuados de antioxidantes desde la edad adulta podría ser útil para lograr un **envejecimiento saludable**, especialmente en casos de envejecimiento prematuro (Alvarado *et al.,* 2006).

Se han propuesto diversos alimentos de nueva generación de carácter nutracéutico, que ayudan a reducir el riesgo de afecciones cardíacas (huevos enriquecidos con ácidos grasos esenciales omega 3 y margarinas con fitoesteroles) y los episodios de espina bífida (cereales con ácido fólico), o facilitar la digestión (leche y yogures fermentados con cultivos prebióticos). Pero el mayor esfuerzo se ha hecho, quizás, en la preparación de alimentos de origen vegetal, como son las microalgas (Kay, 1991), que reduzcan la probabilidad de desarrollar enfermedades crónicas, en particular el cáncer, por la presencia de compuestos biológicamente activos (fitoquímicos) (Plaza et al, 2009).

Microalgas como *Chlorella* spp., *Dunaliella* spp., *Scenedesmus* spp., *Nannochloropsis* spp., *Tetraselmis* spp., *Spirulina* spp. y *Aphanizomenon flos-aquae*, se han utilizado como alimentos ricos en nutrientes y fuentes de nutrientes para alimentos funcionales (Gantar y Svircev, 2008; Bishop y Zubeck, 2012; Yaajob *et al.,* 2014). El uso de microalgas para la alimentación animal y la acuicultura resulta de particular interés (Vaquero *et al.,* 2014). Si bien se han obtenido microalgas comestibles de especies marinas o mesófilas de agua dulce, hasta el momento no se ha intentado introducir la producción a gran escala de microalgas extremófilas para usarlas como fuente de alimentos, probablemente debido a las bajas tasas de crecimiento y la baja productividad de la biomasa. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que la microalga acidófila ***Coccomyxa onubensis*** aislada de río Tinto por el equipo de investigación del Dr. Carlos Vílchez de la Universidad de Huelva, puede cultivarse fototróficamente a pH 2.5 en medio mineral mínimo, alcanzando así una tasa de crecimiento moderada (Buono *et al.,* 2014).

FIGURA 02-3

Algunos productos a base de microalgas se comercializan en la actualidad como suplemento alimentario

FOTO: Francisco Navarro

Cápsulas de Chlorella sp., donde su principal productor a nivel mundial es China y se le atribuyen las propiedades de eliminar toxinas y metales pesados. *Dunaliella salina* (con alto contenido en Betacaroteno y Vitamina A), y Spirulina (posee un coctel de vitaminas y minerales, principalmente vitamina A, E, D, B1, B2, B3, B6, B12, hierro, zinc, ácido fólico y ácidos esenciales. Además es una buena fuente de proteína (70%) y de clorofila.



Por otro lado, existen posibles inconvenientes asociados con el uso de la biomasa completa de microalgas como fuente directa de alimento para las personas y los animales, debidos principalmente a su alto contenido de ácidos nucleicos [TABLA 1] y a su posible contaminación por metales o contaminantes ambientales presentes de forma habitual en el medio ambiente, lo que suscita preocupaciones con respecto a la posible toxicidad y los efectos a largo plazo en la salud humana (Bishop y Zubeck, 2012). Sin embargo, este inconveniente desaparece tomando de la biomasa sólo sus componentes de valor, de forma que el uso futuro de esta biomasa de microalgas en la industria alimentaria, será empleado como fuente de nutracéuticos para alimentos funcionales, en lugar del consumo directo de dicha biomasa.

Si comparamos la composición bioquímica de las microalgas con los alimentos tradicionales, sería posible que pudieran aumentar el contenido nutricional de estos alimentos e incluso afectar positivamente la salud humana y animal. Esto se debe a su particular composición nutricional. La TABLA 3 presenta una comparación entre la composición general de las fuentes de nutrientes para los humanos y varias especies de microalgas comestibles (Pulz y Gross, 2004).

TABLA 02-3

Comparación de la composición bioquímica de fuentes nutricionales convencionales y algunas microalgas comestibles marinas y de agua dulce

FUENTE: Pulz, O. and Gross, W. (2004) [8]

Edible species	Biochemical Composition		
	Proteins (%)	Lipids (%)	Carbohydrates (%)
Bakery yeast	39	1	38
Meat	43	34	1
Milk	26	28	38
Rice	8	2	77
Soy	37	20	30
Chlorella vulgaris	51-58	14-22	12-17
Haematococcus pluvialis	48	15	27
Dunaniella salina	39-61	14-20	14-18
Spirulina maxima	60-71	4-9	8-14
Chlamydomonas rheinhardii	48	21	17
Scenedesmus obliquus	50-56	12-14	10-17
Porphyridium cruentum	28-39	9-14	40-57

[3]
Propiedades nutricionales y biosanitarias de *Coccomyxa onubensis*

Debido al alto contenido en compuestos biológicos beneficiosos para la salud humana y animal que poseen las microalgas, entre los que figuran los lípidos, polisacáridos, antioxidantes, vitaminas, minerales y biomoléculas con actividades farmacéuticas, han aparecido en el mercado multitud de "nuevos alimentos" o nuevos productos de consumo, supuestamente enriquecidos con estos principios activos procedentes de la biomasa de las microalgas como por ejemplo cereales para el desayuno, productos para untar, panes, galletas, brownies, barritas energéticas, mayonesas, postres gelificados, pastas, emulsiones, helados y bebidas (Becker, 2007). Se estima que en pocos años el mercado de los alimentos funcionales supondrá un 20% de la facturación total de alimentos a nivel mundial (Gouveia *et al.,* 2010).

Dentro del ámbito biosanitario se ha encontrado que varios polihidroxiesteroles procedentes de microalgas, exhiben actividades citotóxicas y anticancerígenas (De Jesús-Raposo *et al.,* 2015). Los polisacáridos de algas pertenecen a una gran familia de compuestos químicos muy diversos, algunos de los cuales se han descrito para estimular el sistema inmunitario humano y / o tienen posibles aplicaciones biomédicas (Martínez y Rojo, 2011). Por lo tanto, no cabe duda sobre el alto valor potencial de la biomasa de microalgas como una posible fuente de nutracéuticos para alimentos funcionales dirigidos a prevenir e incluso paliar ciertas enfermedades.

Actualmente ya hay algunas microalgas que son comercializadas para su uso gastronómico, pero no son objeto de investigación, y por lo que conocemos, sus cualidades nutracéuticas no son especialmente extraordinarias, ya que están al nivel de algunas frutas y verduras ordinarias. Hoy se comercializan apenas una decena del millón y medio aproximado de microalgas existentes en el planeta (fundamentalmente como biomasa para principios activos), de ahí el interés en la posible incorporación de la *Coccomyxa onubensis*. Más aún cuando es un mercado que mueve alrededor de los 2.000 millones de euros.

> En este sentido, en el presente capítulo, hemos abordado la posibilidad de utilizar una microalga acidófila *(Coccomyxa onubensis)* procedente de Río Tinto, como fuente de sustancias bioactivas de interés para la salud.

Desde hace varios años, venimos trabajando en colaboración los grupos de investigación SEJ-523 y BIO-214 pertenecientes al Centro de Investigación en Recursos Naturales, Salud y Medioambiente (RENSMA) de la Universidad de Huelva. Dentro de dichos grupos, dirigen los estudios que más adelante pasaremos a describir en detalle, los Dres. Carlos Vílchez y Francisco Navarro, profesores de la Universidad de Huelva, a los que se les suman el Dr. Eduardo Forján, del Servicio Andaluz de Salud de la Junta Andalucía, el Profesor Dr. José Mª Vega de la Universidad de Sevilla y el Dr. Miguel Ángel Castaño, facultativo del Hospital Juan Ramón Jiménez.

[3.1]
Actividad antimicrobiana de la microalga eucariota acidófila *Coccomyxa onubensis*

Los estudios sobre microalgas destinados a encontrar moléculas farmacológicamente activas, y especialmente con actividad antibiótica, comenzó en la década de 1950. Desde entonces, una amplia gama de actividades farmacológicas se ha observado en los extractos de microalgas, aunque en la

mayoría de los casos los principios activos permanecen aún desconocidos (Borowitzka, 1995). Estos estudios también han aumentado en la última década, llevando al descubrimiento de un gran número de nuevos compuestos con actividad farmacológica que actualmente están siendo examinados para su posible aplicación médica (Guedes *et al.,* 2011). Dada la gran diversidad de microalgas existente en la naturaleza, estimada entre 500.000 y un millón (Norton *et al.,* 1996), con una gran variedad de compuestos químicos, no es de extrañar que se hayan descrito una amplia diversidad de actividades biológicas de interés para el hombre, como antitumoral, antibacteriana, antiviral, analgésica, antinflamatoria, etc., Sin embargo, en la actualidad, menos de una docena de microalgas se explotan comercialmente.

Como ya se ha indicado, las microalgas extremófilas están aun prácticamente inexploradas como fuente de productos farmacéuticos, a pesar del hecho de que su biomasa puede producirse a gran escala con un bajo riesgo de contaminación.

Fruto de las investigaciones sobre ésta microalga acidófila originaria del río Tinto, hemos publicado un artículo en el que se describe que dicha microalga presenta actividad inhibidora del crecimiento de determinadas bacterias patógenas, lo que postula a éste organismo como posible fuente novedosa de sustancias antibióticas de interés farmacológico. (doi: 10.1111/pre.12158)

El auge demográfico que se está produciendo en nuestro planeta requiere alimentos, atención médica y protección del medio ambiente, y existe una necesidad urgente de encontrar nuevas fuentes de estos productos. El número creciente de bacterias resistentes a los antibióticos, que es particularmente relevante en el ámbito hospitalario, es un problema de salud que puede alcanzar un nivel alarmante. Se han encontrado bacterias Gram-negativas pertenecientes a los géneros *Pseudomonas, Enterobacter, Acinetobacter, Escherichia* o *Salmonella*, así como bacterias Gram-positivas pertenecientes a los géneros *Staphylococcus, Enterococcus* o *Streptococcus* entre las que muestran resistencia a un gran número de antibióticos (Martínez y Rojo, 2011).

Así, en los últimos años, la industria farmacéutica ha centrado sus esfuerzos en la investigación para detectar organismos unicelulares para la producción de compuestos naturales con actividad antimicrobiana. En este contexto, se han publicado varios artículos de revisión que destacan a las microalgas como productores antimicrobianos eficaces [39-41]. Además, las microalgas también se han referido como fuentes naturales de proteínas de alta calidad para alimentos y moléculas valiosas con aplicaciones en la salud humana, como la actividad antiinflamatoria o antitumoral [42, 43] tal y como hemos descrito anteriormente.

En cuanto a la producción de nutracéuticos, *Coccomyxa onubensis* ha sido ampliamente es tudiada como fuente natural de la luteína, pigmento carotenoide (Forján *et al.,* 2015), un fuerte antioxidante presente en la mácula ocular humana. Y como fuente de agentes antimicrobianos, hemos seguido el enfoque desarrollado por el Instituto de Investigación de Farmacología Marina de Roche (RRIMP, Australia), que fue pionera en la selección de extractos de bioactividad (Borowitzka, 2013), y que describimos a continuación.

En primer lugar, se creció la biomasa suficiente a partir de un cultivo puro de la microalga, a pH 2.5 en reactores discontinuos de 5L a 25ºC, burbujeando aire con un 5% (v/v) de CO2 y continuamente iluminado bajo las condiciones descritas por Forján *et al.* (2015).

Las células de microalga se recolectaron mediante centrifugación a 19,000 g durante 5 min en la fase de crecimiento estacionario temprano del cultivo, en la que se espera que la acumulación de compuestos bioactivos sea máxima (Aremu *et al.,* 2014). Seguidamente, la biomasa se homogeneizó en un mezclador Waring Ultra-Turrax T-25 a fin de romper la pared celular y las endomembranas de forma que todo el contenido soluble pudiese separarse del resto insoluble mediante centrifugación siguiendo

el procedimiento descrito por Navarro *et al.* (2017). El material así obtenido fue empleado como fuente de los extractos bioactivos con diferentes disolventes, obteniéndose finalmente un concentrado que se empleó para las determinaciones de la actividad antimicrobiana frente a diferentes patógenos humanos así como para la determinación de la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI).

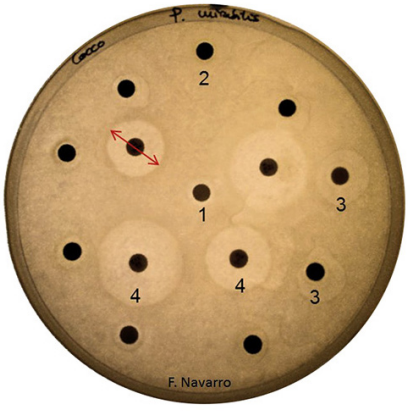
En la figura siguiente se muestran los halos de lisis en una placa de Petri con *Proteus mirabilis* en presencia de los extractos de la micoalga y en la TABLA 4 se recoge el efecto de la actividad inhibitoria del crecimiento de los diferentes extractos obtenidos a partir de la microalga con varios solventes empleados como agente extractante, frente al crecimiento de los patógenos hospitalarios más frecuentes.

FIGURA 02-4

Halos de lisis en una placa de Petri con *Proteus mirabilis* crecida en césped

FOTO: Francisco Navarro

Puede observarse cada uno de los discos de antibiograma (círculos oscuros) cómo se rodea o no de un "halo" (flecha roja) según la mayor o menor efectividad del extracto empapado en ellos.



(1): Control negativo

(2): Extracto sin efecto (agua)

(3): Efecto positivo del extracto de la microalga

(4): Efecto positivo de antibióticos comerciales

A partir de la tabla 4 podemos deducir tres hechos: (1) Todos los extractos celulares obtenidos de *Coccomyxa onubensis*, excepto los extractos acuosos y etanólicos, mostraron efectos antimicrobianos. Los diferentes efectos inhibitorios de diferentes disolventes indican que las moléculas bioactivas que están presentes en los extractos son diferentes o están más o menos concentradas. (2) Los solventes menos polares (hexano, cloroformo y diclorometano, Celdillas color rojo en la tabla) mostraron los halos de inhibición más grandes, comparables con los efectos producidos por los antibióticos comerciales ampliamente utilizados en la práctica clínica. (3) Por otro lado, los mayores efectos antimicrobianos se obtuvieron contra *E. coli*, *Salmonella sp*. y *Proteus mirabilis*, todas ellas bacterias Gram (-). Mientras que no se encontró actividad comparable con antibióticos comerciales contra bacterias Gram (+), lo que sugiere que el mecanismo antibiótico de los extractos bioactivos podría dirigirse contra la pared celular de las bacterias.

TABLA 02-4

Comparación de la composición bioquímica de fuentes nutricionales convencionales y algunas microalgas comestibles marinas y de agua dulce

FUENTE: Navarro *et al.* 2017 [45]

Zona de inhibicion, incluyendo el diámetro del disco de antibiograma (6 mm). Hex, hexano; DEth, diethyl ether; Chlf, chloroform; Dich, dichloromethane; EtAcet, ethyl acetate; Met:Dich; methanol- dichloromethane 1:1; Acet, acetone; Met, methanol; Phos, phosphomycin; Amox, amoxicillin-clavulanate; Ciprofx, ciprofloxacin. Diámetros de inhibición: - , sin efecto inhibitorio; +, diámetro 6 – 7.9 mm; ++, diámetro 8 – 13.9 mm; +++, diámetro > 14 mm. La actividad antimicrobiana fue medida por triplicado mediante el método de difusión en disco- placa (Collins y Lyne, 1989) y la zona de inhibición del crecimiento se interpretó según Abdel-Raouf *et al.* (2011). Para descartar que los solventes orgánicos tuviesen actividad antimicrobiana, se ensayaron discos cargados con los solventes orgánicos sin los extractos. Para comparar la actividad antimicrobiana se ensayaron los antibióticos comerciales: Fosfomicina, Amoxicilina, Cefoxitina y Ciprofloxacino.

Coccomyxa onubensis

	Inhibition zone diameters (mm)[3]										
	Extracts (25 µl/disc)								Commercial antibiotics		
Microorganism	*Hex*	*DEth*	*Chlf*	*Dich*	*EtAcet*	*Met:Dich*	*Acet*	*Met*	*Phos*	*Amox*	*Ciprofx*
Pseudomonas areuginosa	-	-	-	+	+	-	+	+	+++	-	+++
Escherichia coli S	+	++	+++	++	+	-	+	++	++	++	+++
Escherichia coli ESBL	+	++	-	+	+	-	++	+	++	-	-
Salmonella sp.	+++	++	+++	+++	++	++	+	++	+++	+++	+++
Proteus mirabilis	+++	+	+++	+	+	+	++	+	+++	+++	+++
Staphylococcus aureus	-	++	-	-	+	+	++	++	+++	+++	+++
Staphylococcus aureus MB	++	++	+	-	+	-	+	++	+++	+++	+++
Candida albicans	++	+	-	+	++	-	++	++	+++	+++	+++

El análisis de los extractos de *Coccomyxa onubensis* con mayor actividad antimicrobiana, como se observa en el siguiente cromatograma, presenta un importante contenido en ácido palmítico (C16: 0), oleico (C18: 1), linoleico (C18: 2) y linolénico (C18: 3).

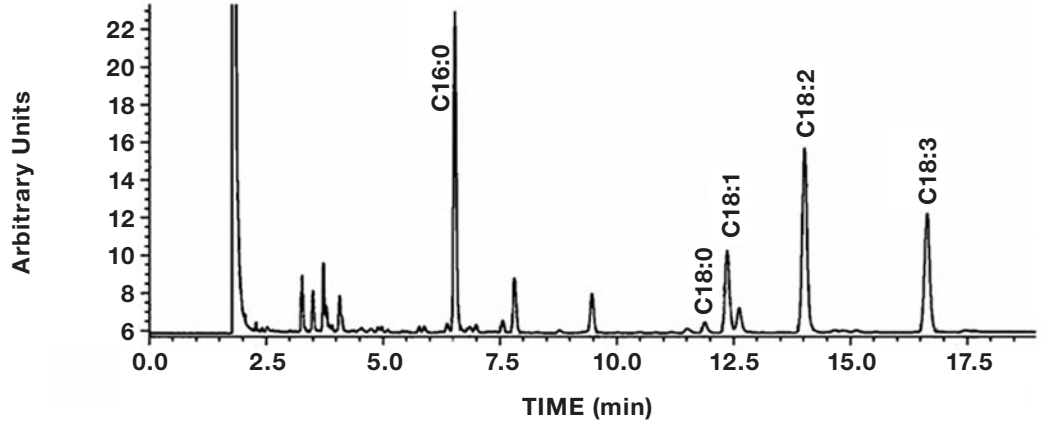
Muchos de estos ácidos grasos presentes en los extractos de la microalgas han sido descritos como agentes antimicrobianos (Navarro *et al.,* 2017). El ácido linolénico se identificó como un agente antimicrobiano en el extracto de espirulina (Kaushik y Chauhan, 2008), en el caso de *Phaeodactylum tricornutum Bohlin*, el ácido graso responsable de la actividad antibiótica contra las bacterias Gram-positivas y Gram-negativas fue el ácido eicosapentaenoico (Desbois *et al.,* 2009). Además, otros compuestos con propiedades antimicrobianas pueden incluir indoles, terpenos, acetogeninas, fenoles e hidrocarburos halogenados volátiles (Sing *et al.,* 2005). Por su parte, Molnár *et al.* (2010) encontraron que una molécula relacionada con la luteína mostró un poderoso efecto anti-*Helicobacter pylori*, con

FIGURA 02-5

Cromatograma de gases obtenido a partir de extracto bioactivo de *C. onubensis* empleando exano como agente extractante

FUENTE: Navarro *el al.* 2017 [45]

Ácidos grasos principales: C16: 0, ácido palmítico; C18: 1, ácido oleico; C18: 2, ácido linoleico; C18: 3, ácido linolénico.



una actividad, comparable al metronidazol, el compuesto farmacológico antimicrobiano utilizado para el tratamiento contra esta bacteria. Si bien el mecanismo a través del cual los ácidos grasos pueden ejercer su actividad bactericida no se conoce completamente, se sabe que puede promover el daño a la membrana celular bacteriana, lo que resulta en la alteración de la absorción de nutrientes y la inhibición de la respiración celular (Smith *et al.,* 2010).

Como conclusión final a este trabajo cabe destacar que en él se describe por primera vez, una actividad antimicrobiana procedente de la microalga acidófila *Coccomyxa onubensis*. Al contrario de lo observado en otras microalgas de ambientes no extremos como por ejemplo *Chlorella sorokiniana*, la intensa actividad antimicrobiana encontrada en *Coccomyxa* frente a microorganismos patógenos, sugiere que esta microalga puede ser una fuente de nuevos antibióticos de aplicación humana. A partir de este momento se requiere estudiar la efectividad de esta microalga frente a una mayor variedad de diferentes cepas que resulten de interés clínico, así como estudiar también la posible bioactividad antimicrobiana de diferentes especies extremófilas.

[3.2] Microalgas como fuente de alimentación segura para animales: características nutricionales de la microalga acidófila *Coccomyxa onubensis* y sus posibles beneficios para la salud.

Las propiedades bioquímicas y el comportamiento biológico de las microalgas han sido poco investigados aún, aunque se han hecho algunos estudios sobre la influencia de las algas en el crecimiento de los animales y sobre la biodisponibilidad de componentes de la dieta para evaluar su uso potencial como ingredientes en la industria alimentaria (Gudiel-Urbano y Goñi, 2002a).

Las algas marinas se consumen con frecuencia en Asia y de vez en cuando en el resto del mundo. Desde un punto de vista nutricional, las algas comestibles son ricas en polisacáridos no almidonados, proteínas, minerales y vitaminas. Tienen un bajo contenido de lípidos y proporcionan una cantidad muy baja de calorías. Sin embargo, la composición de las algas podría interferir con la biodisponibilidad de otros nutrientes (Gudiel-Urbano y Goñi, 2002b). Además se ha descrito que las algas comestibles pueden influir en la composición y en las actividades metabólicas de la microflora intestinal de la rata (Gudiel-Urbano y Goñi, 2002a) lo que hace obligado su detenido estudio como posible suplemento alimenticio en humanos.

Debido a que el hábitat natural de *C. onubensis* es compatible con condiciones de alta irradiación y de elevado estrés oxidativo, los parámetros fisicoquímicos y nutricionales pueden fijarse adecuadamente para producir biomasa con un alto contenido de nutracéuticos como carotenoides (principalmente luteína) y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) (Ruiz-Domínguez *et al.,* 2015). En la siguiente tabla se muestra la composición nutricional de la biomasa de de *C. onubensis* que junto a su contenido en moléculas biosaludables la convierte en un buen modelo para investigar el papel potencial de una microalga fotosintética acidófila para ser utilizada en la alimentación animal. La microalga encontrada en el río Tinto, genera una biomasa rica en proteínas (44,60% del peso seco) y fibras dietéticas (15,73%), moderada en hidratos de carbono (24,8%) y tiene un bajo contenido de lípidos (5,4%), de los cuales los ácidos grasos poliinsaturados representan el 65% del total (Navarro *et al.,* 2016). Por lo tanto, hemos llevado a cabo un estudio para dilucidar los efectos de las dietas suplementadas con microalgas en la salud de animales modelo de laboratorio, cuyos resultados nos permitan extrapolarlos a otros animales, como los propios de explotación ganadera, o incluso a humanos.

TABLA 02-5

Composición nutricional de la biomasa seca* de *C. onubensis*

FUENTE: Navarro *et al.* (2017) [54]

(*) El peso seco representa el 24,35% de la biomasa.

PARÁMETROS	Composición de la Fracción (%)	Composición de la Subfracción (%)
Proteinas	44.60	---
Carbohidratos	24.80	---
Azúcares solubles	---	4.11
Fibra dietética	15.73	---
Triglicéridos	5.40	---
Grasas saturadas	---	17.55
Grasas monoinsaturadas	---	17.45
Grasas poliinsaturadas	---	65.00

Igualmente, hemos podido comprobar la existencia de lípidos de alto valor en alimentación humana saludable, como el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA) o hidratos de carbono como el ß-1,3-glucano, una fibra natural soluble con actividad estimuladora del sistema inmune.

Como es lógico, en todos los casos, hemos de demostrar la inocuidad de la ingesta de estos "nuevos alimentos" antes de poder aprovechar sus posibles beneficios. En este sentido, el proceso pasa por abordar la denominada ***fase preclínica*** consistente en comprobar sus efectos sobre animales de experimentación, siendo los roedores los animales de laboratorio más utilizados en estas investigaciones biomédicas. La forma habitual de testar en animales estos productos, es la fabricación de piensos modificados, de forma que éstos han sido mezclados con las dietas habituales y después suministrados a ratas o ratones (Van Haver, 2008). De esta forma, nuestro equipo de investigación abordó el **estudio de bioseguridad** de ingesta de la microalga *Cocomyxa onubensis* empleándola como suplemento alimenticio, mediante la elaboración de dietas modificadas.

Durante la administración de la dieta modificada a testar, parámetros tales como el peso corporal, consumo de alimento, bioquímica de la sangre, peso de los órganos, histopatología, etc., han sido profundamente analizados para comprobar sus efectos sobre la salud tal y como recomienda Van Haver (2008).

A la hora de decantarnos por un modelo animal de laboratorio para nuestro estudio, consideraremos que la anatomía y la fisiología de la rata y el ratón son muy similares, sin embargo la ventaja del empleo de las ratas respecto de los ratones en experimentación, radica en su mayor tamaño (mayores órganos, mayor volumen de sangre, etc.). A demás, las ratas no pueden regurgitar ni vomitar por lo que son muy sensibles a los tóxicos y a las dosis y podemos estar seguros de que retienen todo el alimento que ingieren, el cual toman de forma semicontinua en condiciones *ad libitum*.

Por otro lado, siempre que sea posible, hay que considerar también factores como la docilidad que nos permita su manipulación con el mínimo riesgo, el tamaño máximo que pueden alcanzar, a fin de requerir más o menos cantidad de alimento, que no siempre es fácil ni económico de producir. Si son cepas consanguíneas, además, nos permitirán reducir el número necesario de ejemplares por grupo, ya que la variabilidad genética está reducida, lo que reduce nuevamente el gasto de los ensayos y sobre todo, el menor número posible de animales para obtener datos fiables, para así limitar o evitar potencialmente el uso posterior de otros animales, sin comprometer el bienestar animal, tal y como se recoge en el "*Principio de las tres erres en la experimentación ani*mal" (Russell y Burch, 1959).

Dependiendo de las características de los ensayos diseñados, cabe la elección de ejemplares exclusivamente machos, lo que garantiza que su composición hormonal no varía a lo largo de la vida adulta, muy a tener en cuenta en ensayos nutricionales y de estrés oxidativo (Navarro *et al.,* 1999).

Por último, consideraremos que la cepa Long Evans para la experimentación (Orden Rodentia, Suborden Myomorpha, Familia Muridae, Género/especie *Rattus norvegicus*) suministrada por "Charles River Laboratories" (Francia), es utilizada para estudios de nutrición, ya que poseen un metabolismo constante (Salvador Cabos, 2012), con lo que alcanzado este punto tendremos definido cuál sería el modelo que más se adecúa al estudio planteado.

El estudio de bioseguridad alimentaria consistió en establecer cuatro grupos de ratas organizados al azar (n = 6) que fueron alimentados con una dieta estándar (Control) o con una dieta en la que el 0,4% (Grupo2); el 1,25% (Grupo3); ó el 6,25% (Grupo4) (w/w) del peso de la dieta estándar, fue sustitui-

do por polvo de la microalga seca respectivamente. Los cuatro grupos de animales fueron alimentados *at libitum* durante 45 días.

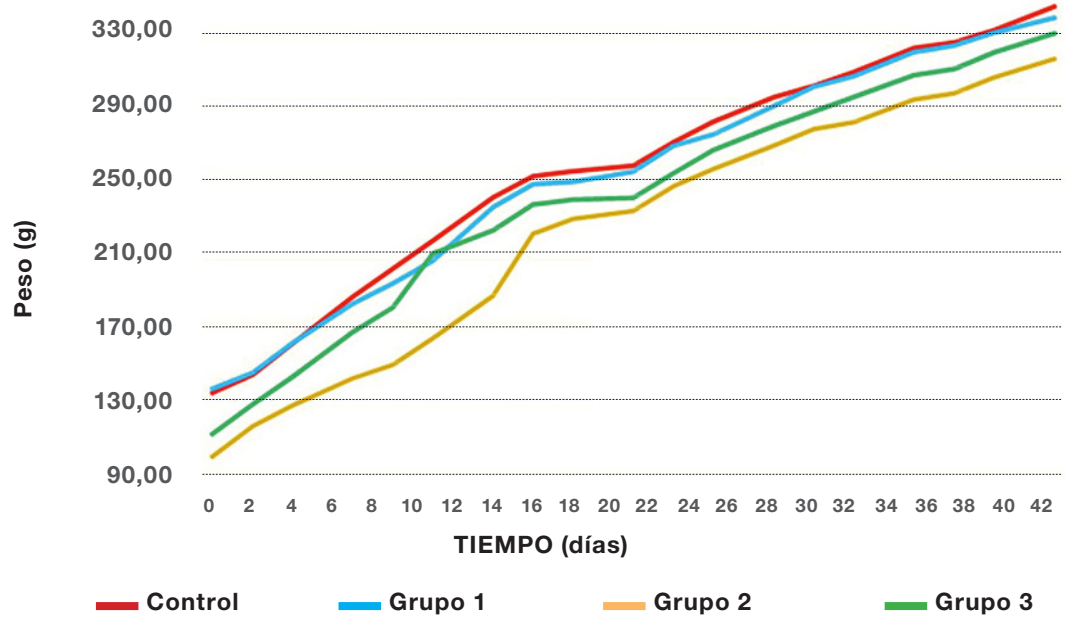
Tras el estudio se comprobó que ninguna de las dietas empleadas origina disminución en la ganancia de peso durante el transcurso del experimento. El incremento del peso de los animales en los cuatro grupos, no presenta diferencias ni entre sí ni con respecto al control. En consecuencia, la sustitución de parte del pienso convencional por la microalga no afecta a la tasa de crecimiento de los animales.

FIGURA 02-6

Ganancia de peso durante todo el tiempo que ha durado el experimento

Los datos son el valor medio para cada grupo

FUENTE: Navarro *et al.* (2017) [54]



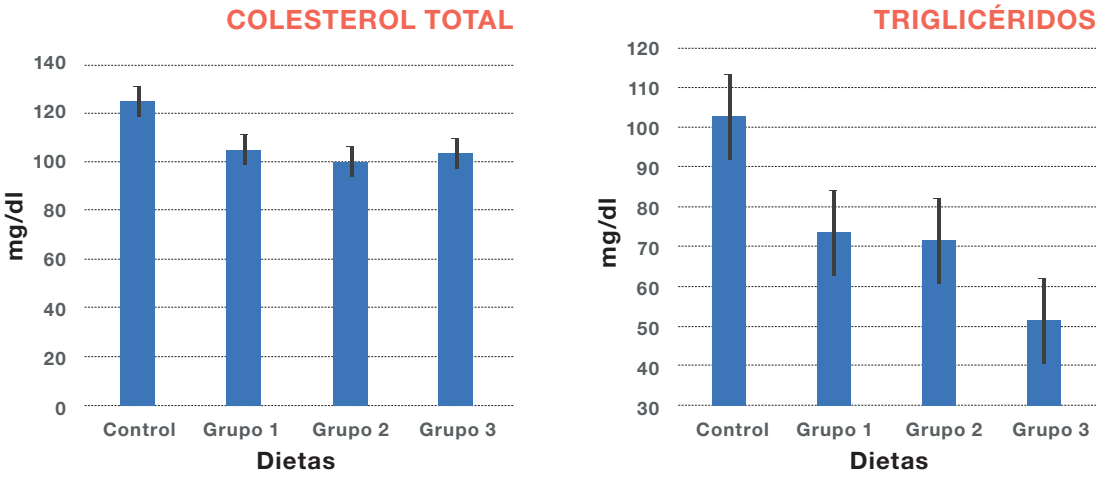
Las ratas no mostraron alteraciones fisiológicas o de comportamiento visibles durante el período experimental. La ingesta de la microalga, aún a dosis muy elevadas, no induce alteraciones significativas en los parámetros de la bioquímica sanguínea relacionados con el daño hepático, pancreático o renal, manteniéndose todos los respectivos marcadores bioquímicos dentro de los límites saludables en los cuatro grupos de ratas.

Los parámetros hematológicos y bioquímicos se analizaron en paralelo con los estudios histológicos, y los resultados no mostraron efectos adversos en la salud de los modelos animales de laboratorio analizados. Además, las dietas suplementadas con *C. onubensis* exhibieron un potente efecto hipocolesterolémico e hipototrigliceridémico en los animales del estudio, induciendo respecto del control una disminución de triglicéridos y de colesterol VLDL y además disminuye la actividad de las transaminasas hepáticas, pudiéndosele otorgar un cierto papel hepatoprotector.

FIGURA
02-7

Valores de Colesterol total y Triglicéridos durante el experimento

La microalga induce un suave efecto dislipemiante, que se alcanza a pequeñas dosis. Los triglicéridos, procedentes de las calorías sobrantes tomadas en los alimentos, son almacenados en los adipocitos para su uso posterior. Alcanzan niveles altos cuando la ingesta de calorías es mayor que la que el organismo necesita. La administración de la microalga induce una bajada en los niveles séricos de hasta el 50.18% respecto de los valores control [54].

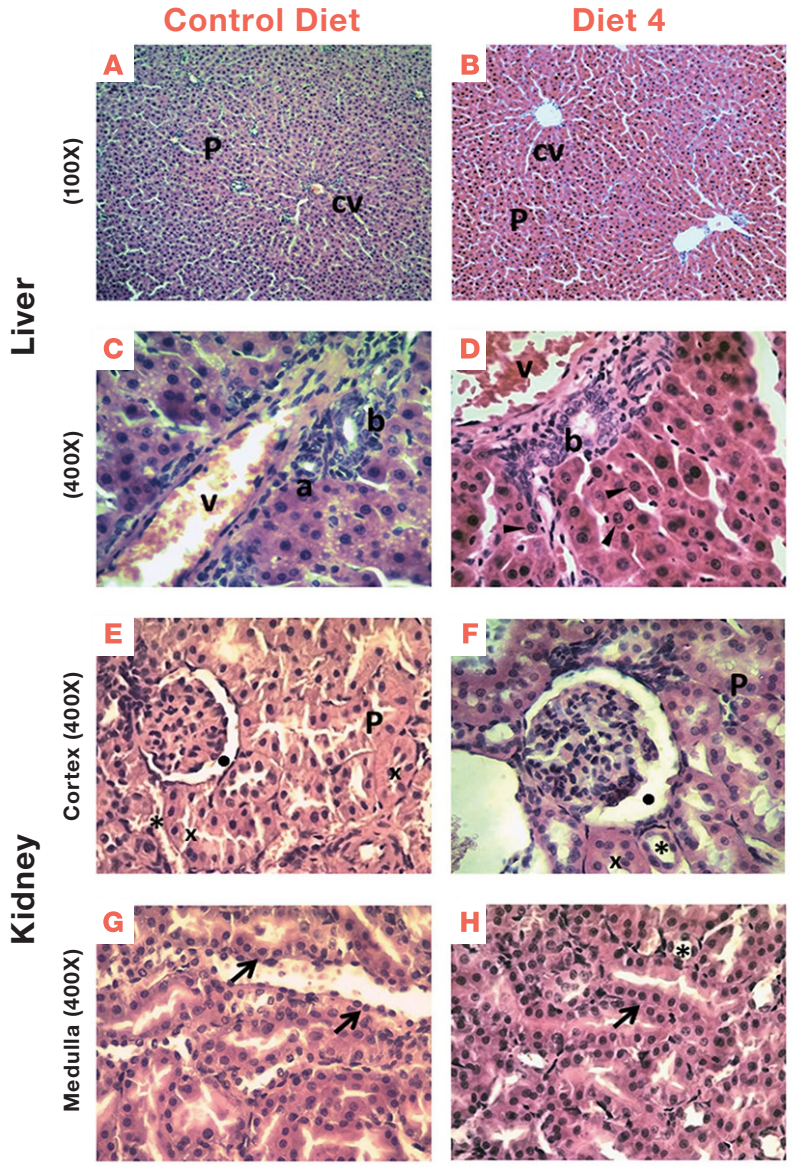


A nivel histopatológico, no se aprecian alteraciones ni en el hígado ni en el riñón, revelando órganos sanos en todos los animales, lo que corrobora los resultados obtenidos en la bioquímica sanguínea. El grosor y la configuración de las trabéculas, la presencia de cambios regenerativos y una evaluación inicial de la fibrosis en el hígado se llevaron a cabo sin que se observaran cambios patógenos en ninguno de los grupos (Histopatología A-D).

Además, los parámetros indicativos de degeneración y deposición de sustancias, como la degeneración en globo (hinchazón), la presencia de colestasis y la esteatosis macro y micro vesicular, se encontraron normales en todos los grupos. Todas las secciones estudiadas mostraron una arquitectura de hepatocitos saludables en el parénquima y la vena central, con grados similares de esteatosis entre los diferentes grupos de ratas. Sin embargo, se identificaron alteraciones en el patrón de cromatina de los núcleos de hepatocitos del grupo Dieta 4 (Histopatología 1D), que no afectó la salud de los animales. Asimismo, el citoplasma presentó una distribución de manera normal, independientemente de la dieta recibida por la rata (Histopatología 1E y F). Los túbulos contorneados distales y proximales también mostraron una distribución normal de células epiteliales. La mayoría de los túbulos en la médula (Histopatología 1G y H) presentaban una sección longitudinal y un epitelio de túbulos colectores intactos. Se prestó atención a la estructura de los vasos sanguíneos para identificar la posible presencia de vasculitis, trombos, hialinización o esclerosis, pero todas las secciones histológicas estudiadas parecían normales según los parámetros de Kierszenbaum (2013), lo que indica una falta de toxicidad de las dietas que contienen microalgas en polvo.

FIGURA 02-8

Histopatología: Secciones de hígado y riñón de rata, teñidas con Hematoxilina y Eosina



Hígado: A-B. Arquitectura del hepatocito en el parénquima **(P)** y vena central **(cv)**.

C-D: Secciones hepáticas a mayor aumento donde puede observarse la Tríada portal: vena portal normal **(v)**, arteria **(a)** y el conducto biliar **(b)** sin oclusiones. **D:** Las cabezas de flecha indican los núcleos de los hepatocitos.

Riñón: E-H. Las secciones de la corteza renal **(punto negro)**, el túbulo contorneado proximal **(x)** y el distal **(*)** se muestran en **E-F.**

G-H: Médula. Corte longitudinal del epitelio tubular **(flechas negras)**.

Todos los ensayos fueron diseñados siguiendo el principio de las tres erres de Russel y Burch (1959) y las ratas fueron manejadas y cuidadas en todo momento de acuerdo con las normas establecidas por la Comunidad Europea descritas en la Directiva 2010/63/UE. Toda la investigación se llevó a cabo después de la aprobación por el Comité Ético correspondiente.

[4] Conclusión

Todos los datos obtenidos parecen indicar la ausencia de toxicidad en las ratas por la ingesta de *C. onubensis* y apoyan que la biomasa de esta microalga puede ser un suplemento seguro en la dieta de ratas y tiene las propiedades nutricionales adecuadas de los alimentos funcionales. La biomasa es consumida y bien tolerada por los animales de experimentación, los cuales la ingieren a una tasa similar a la del pienso control.

De este modo queda demostrada la inocuidad de la ingesta de *C. onubensis* en una fase preclínica, sin embargo, y en segundo lugar, ahora es necesario realizar una **fase clínica** con voluntarios humanos para comprobar los mismos resultados. Una labor que se lleva a cabo siempre bajo la supervisión médica, que en este caso, desde el Hospital Infanta Elena y su Unidad de Cardiología y Lípidos, con quien mantenemos una estrecha relación.

[5] Bibliografía

! https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Tinto (enero de 2019).

| Elena González-Toril, E.; Rodríguez, N.; Gómez, F.; Amils, R.; Aguilera A.; Fernández Remolar, D. (2004), Boletín informativo de la SEA, 12, págs. 19-26.

| Forján Lozano, E.; Vílchez Lobato, C.; Vega Piqueres, J.M. Biotecnología de microalgas. Ed. CEPSA (2014) ISBN: 978-84-617-2314-0. 318 pgs.

| Amaral Zettler, L.A.; Gómez, F.; Zettler, E.; Keenan, B.G.; Amils, R.; Sogin, M.L. (2002). *Microbiology: eukaryotic diversity in Spain's River of Fire*. Nature, 417: 137.

| Spolaore, P.; Joannis-Cassan, C.; Duran, E.; Isambet, A., (2006). *Commercial applications of microalgae.* J. Biosci. Bioeng., 101 (2): 87–96

| Jensen, G.S.; Ginsberg, D.I.; Drapeau, M.S. (2001) *Blue-Green Algae as an Immuno-Enhancer and Biomodulat*or. J. Amer. Nutr. Ass. 3: 24-30.

| Olaizola, M. (2003) *Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace*. Biomol Eng. 20 (4-6): 459-66.

| Pulz O and Gross W. (2004). *Valuable products from biotechnology of microalgae*. Appl Microbiol Biotechnol. Nov; 65 (6): 635-48.

| Borowitzka, M.A. (1995). *Microalgae as a source of pharmaceuticals and other biologically active compounds*. J. Appl. Phycol., 7: 13–15.

| Plaza, M.; Herrero, M.; Cifuentes A.; Ibáñez, E. (2009*). Innovative natural functional ingredients from microalgae*. J. Agric. Food Chem., 57 (7): 159-170.

| Blom, J.F.; Pernthaler, J. (2010). *Antibiotic effects of three strains of Chrysophytes (Ochromonas, Poterioochromonas) on freshwater bacterial isolates.* FEMS Microbiol. Ecol., 71: 281–290.

| Vega, J.M.; Cárdenas, J.; Castillo F. (1983) *La bioconversión de la energía*. Ed. Pirámide. ISBN: 84-368-0229-2.

- Guil-Guerrero, J.L.; Navarro-Juarez, R.; Lopez-Martinez, J.C.; Campra-Madrid, P.; Rebolloso-Fuentes, Mª.M. (2004). *Functional properties of the biomass of three microalgal species*. Journal Food Engineering. 65: 511-517.
- Becker, W. (2004) *Microalgae in Human and Animal Nutrition*. In: Richmond, A., Ed., Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, Blackwell Science, London, 566 p.
- Metting, F. Jr. (1996) *Biodiversity and application of microalgae.* Journal of industrial microbiology and biotechnology 17(5-6): 477-489.
- Borowitzka, M.A. (1988). *Fats, oils and hydrocarbons*. In: Borowitzka, M.A. and Borowitzka, L.J., (eds.) Micro-algal Biotechnology. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 257-287.
- Tzovenis, I.; De Pauw, N.; Sorgeloos, P. (2003) *Optimisation of T-ISO biomass production rich in essential fatty acids: I. Effect of different light regimes on growth and biomass production*. Aquaculture 216 (1-4): 203-222.
- Torres, M.L.; Francés, M. (2007). *The balanced diet*. Spanish Society of Dietetics and Food Sciences. Legal deposit: Z-1789-2007.
- Layman, D.K. (2014). *Eating patterns, diet quality and energy balance. A perspective about applications and future directions for the food industry*. Physiol. Behav., 134: 126–130.
- Gómez-Ariza, J.L.; García-Barrera, T.; Gómez-Jacinto, V.; Garbayo, I.; Vílchez, C. (2010). *Microalgae, new paths to functional foods*. I Jornadas del Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario. University of Huelva.
- Sloan, A.E. (2000). *The Top Ten Functional Food Trends*. Food Technol., 54: 33-62.
- Ferreira Montero, J.; Luengo Fernández, E. (2007). *La dieta como concepto terapéutico. Conceptos de alimento funcional y de nutracéutico. Situación actual de los alimentos funcionales y nutracéuticos. Aspectos legales*. En: Alimentos funcionales y nutracéuticos. Coord. E. Luengo Fernández. Sociedad española de cardiología. Sección de cardiología preventiva y rehabilitación, 2007, 82 pags.
- Urala, N.; Lähteenmäki, L. (2007). *Consumers changing attitudes towards functional foods*. Food Quality and Pref., 18: 1-12.
- Ames, B.N.; Shigenaga, M.K.; Hagen, T.M. (1993). *Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 90 (17): 7915–7922.
- Devasagayam, T.P.A.; Tilak, J.C.; Boloor, K.K.; Sane, K.S.; Ghaskadbi, S.S.; Lele, D.D. (2004) *Free Radicals and Antioxidants in Human Health: Current Status and Future Prospects*. JAPI, (52): 794-804.
- Alvarado, C.; Álvarez, P.; Puerto, M.; Gausserès, N.; Jiménez, L.; De la Fuente, M. (2006). *Dietary supplementation with antioxidants improves functions and decreases oxidative stress of leukocytes from prematurely aging mice.* Nutr. 22: 767–777.
- Kay RA. (1991). *Microalgae as food and supplement*. Crit Rev Food Sci Nutr., 30: 555-573.
- Gantar, M.; Svircev, Z. (2008). *Microalgae and cyanobacteria: Food for thought*. J Phycol., 44: 60-68.
- Bishop, W.M.; Zubeck, H.M. (2012). *Evaluation of microalgae for use as nutraceuticals and nutritional supplements*. J Nutr Food Sci., 2: 147-152.
- Yaajob, Z.; Ali, E.; Zainai, A.; Mohamad, M.; Takriff, M.S. (2014). *An overview: biomolecules from microalgae for animal feed and aquaculture*. J Biol Res., 21: 6-15.
- Vaquero, I.; Mogedas, B.; Ruiz-Domínguez, M.C.; Vega, J.M.; Vílchez, C. (2014). *Light- mediated lutein enrichment of an acid environment microalga*. Algal Res., 6: 70-77.
- Buono, S.; Langellotti, A.L.; Martello, A.; Rinna, F.; Fogliano, V. (2014). *Functional ingredients from microalgae*. Food Funct., 5: 1669-1685.

- Becker, E.W. (2007). *Micro-algae as a source of protein*. Biotechnol., 25: 207-210.
- Gouveia, L.; Marques, A.E.; Sousa, J.M.; Moura, P.; Bandarra, N.M. (2010). *Microalgae-source of natural bioactive molecules as functional ingredients*. Food Sci Technol Bull: Funct Foods., 7: 21-37.
- De Jesús-Raposo, M.F.; De Morais, A.M.; De Morais, R.M. (2015). *Marine polysaccharides from algae with potential biomedical applications*. Mar Drugs., 13: 2967-3028.
- Martínez, J. L.; Rojo, F. (2011). *Metabolic regulation of antibiotic resistance*. FEMS Microbiol. Rev. 35: 768–89.
- Guedes, A.C.; Amaro, H.M.; Malcata, F.X. (2011). *Microalgae as sources of high added- value compounds-A brief review of recent work*. Biotechnol.Prog., 27: 597-613.
- Norton, T.A.; Melkonian, M.; Andersen, R.A. (1996). Algal biodiversity. Phycologia, 35: 308-326.
- Plaza, M.; Santoyo, S.; Jaime, L.; García-Blairsy, G.; Herrero, M.; Señorans, F.J.; Ibáñeza, E. (2010). *Screening for bioactive compounds from algae*. J Pharm Biomed Anal., 51: 450-455.
- Najdenski, H.M.; Gigova, L.G.; Iliev, I.; Pilarski, P.S.; Lukavský, J.; Tsvetkova, I.V.; Ninova, M.S.; Kussovski, V.K. (2013). *Antibacterial and antifungal activities of selected microalgae and cyanobacteria*. Int. J. Food Sci. Technol., 48: 1533–1540.
- Senhorinho, G.N.A.; Ross, G.M.; Scott, J. A. (2015). *Cyanobacteria and eukaryotic microalgae as potential sources and antibiotics*. Phycologia, 54: 271–82.
- Borowitzka, M.A. (2013). *High-value products from microalgae – their development and commercialization*. J. Appl. Phycol., 25: 743–756.
- Forján, E.; Navarro, F.; Cuaresma, M.; Vaquero, I.; Ruíz-Domínguez, M.C.; Gojkovic, Z.; Vázquez, M.; Márquez, M.; Mogedas, B.; Bermejo, E.; Girlich, S.; Domínguez, M.J.; Vílchez, C.; Vega, J.M.; Garbayo. I. (2015). *Microalgae: fast growth sustainable green factories*. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol., 45: 1705–1755.
- Aremu, A.O.; Masondo, N.A.; Stirk, W.A.; Ordog, V.; Staden, V.A.N. (2014). *Influence of culture age on the phytochemical content and pharmacological activities of five Scenedesmus strains*. J. Appl. Phycol., 26: 407-415.
- Navarro, F.; Forján, E.; Vázquez, M.; Toimil, A.; Montero. Z.; Ruiz-Domínguez, M.C.; Garbayo, I.; Castaño, M.A.; Vílchez, C.; Vega, J.M. (2017). *Antimicrobial activity of the acidophilic eukaryotic microalga Coccomyxa onubensis*. Phycol. Res., 65: 38-43.
- Kaushik, P.; Chauhan, A. (2008). *In vitro antibacterial activity of laboratory grown culture of Spirulina platensis*. Indian J. Microbiol., 48: 348-352.
- Desbois, A.P.; Mearns-Spragg, A.; Smith, V.J. (2009). *A fatty acid from the diatom Phaeodactylum tricornutum is antibacterial against diverse bacteria including multi-resistant Staphylococcus aureus (MRSA).* Mar. Biotechnol., 11: 45-52.
- Sing, S.; Kate, B.N.; Banerjee, U.C. (2005). *Bioactive compounds from cyanobacteria and microalgae: an overview*. Crit. Rev. Biotechnol., 25: 73-95.
- Molnár, P.; Deli, J.; Tanaka, T.; Kann, Y.; Tani, S.; Gyémánt, N.; Molnár, J.; Kawase, M. (2010). *Carotenoids with anti-Helicobacter pylori activity from Golden delicious apple*. Phytother. Res., 24: 644–648.
- Smith, V.J.; Desbois, A.P.; Dyrynda, E. A. (2010). *Conventional and unconventional antimicrobials from fish, marine invertebrates and micro-algae.* Mar. Drugs, 8: 1213–1262.
- Gudiel-Urbano, M.; Goñi, I. (2002-a). *Effect of edible seaweeds (Undaria pinnatifida and Porphyra ternera) on the metabolic activities of intestinal microflora in rats*. Nutrition Research, 22 (3): 323-331.
- Gudiel-Urbano, M.; Goñi, I (2002-b). *Bioavailability of nutrients in rats fe don edible seaweeds, Nori (Porphyra tenera) and Wakame (Undaria pinnatifida), as a source of dietary fibre*. Food Chemistry 76: 281-286.

- Ruiz-Domínguez, M.C.; Vaquero. I.; Obregón, V.; De la Morena, B.; Vílchez, C.; Vega, J.M. (2015). *Lipid accumulation and antioxidant activity in the eukaryotic acidophilic microalga Coccomyxa sp. (strain onubensis) under nutrient starvation.* J Appl Phycol., 27: 1099-1108.
- Navarro, F.; Forján, E.; Vázquez, M.; Montero, Z.; Bermejo, E.; Castaño, M.A.; Toimil, A.; Chagüaceda, E.; García-Sevillano, M.A.; Sánchez, M.; Domínguez, M.J.; Pásaro, R.; Garbayo, I.; Vílchez, C.; Vega, J.M. (2016) *Microalgae as a safe food source for animals: nutritional characteristics of the acidophilic microalga Coccomyxa onubensis*. Food Nutr Res., 60: 30472.
- Van Haver, H. (2008). *Safety and nutritional assessment of GM plants and derived food and feed: The role of animal feeding trials.* Food and Chemical Toxicology, 46: S2–S70.
- Russell, W.M.S.; Burch, R.L. (1959). *The principles of humane experimental technique.* London UK: Methuen.
- Navarro, F.; Arroyo-Luque, A.; Martín-González, S.F.; Bello-Gomez, R.I.; De Cabo-Moreno, R.C.; Burgess, J. R.; Navas-Lloret, P.; Villalba-Montoro, J.M. (1999). *Protective role of ubiquinone in vitamin e and selenium-deficient plasma membranes*. BioFactors (Oxford). 9 (2-4): 163-170.
- Salvador Cabos, N. (2012). *Biología general del reactivo biológico*. Unidad de Producción Animal. Instituto Santiago Ramón y Cajal, CSIC, Madrid.
- Kierszenbaum AL. *Histología y Biología Celular: introducción a la anatomía patológica*. Barcelona: Elsevier España; 2013.



Linaria tursica

FOTOGRAFÍA: A. F. Muñoz-Rodríguez



03

Síntesis de la flora de la provincia de Huelva

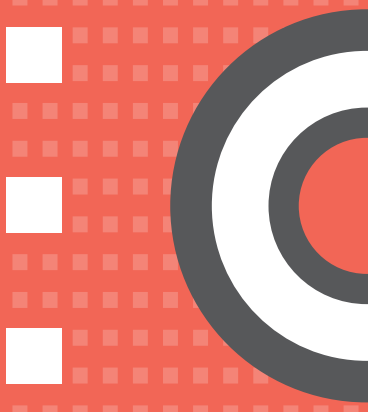
Adolfo F. Muñoz Rodríguez* || María Dolores Infante Izquierdo |1|
Enrique Sánchez Gullón |2|

|1| Grupo Investigación Marismas y Playas (RNM-358). Área de Botánica. Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España

|2| Paraje Natural Marismas del Odiel, Ctra. del Dique Juan Carlos I Km 3, Apdo. 720, 21071 Huelva, España.

* Corresponding author | Dr. Adolfo F. Muñoz Rodríguez || adolfo.munoz@dbasp.uhu.es

Tel.: +34 959 21 98 81 | +34 959 21 96 68 || Fax: +34 959 21 94 67



Síntesis de la flora de la provincia de Huelva

Adolfo F. Muñoz Rodríguez || María Dolores Infante Izquierdo || Enrique Sánchez Gullón

RESUMEN

Huelva posee una flora de plantas vasculares que reúne unos 1700 taxones, entre especies y subespecies, lo que supone una riqueza alta, por su posición en un importante punto caliente de biodiversidad mundial. Las tres principales familias representadas en su flora son *Poaceae, Fabaceae* y *Asteraceae*, cada una de ellas con alrededor del 10% de las especies de flora de la provincia. Dentro de su espectro corológico destacan elementos de la Región Mediterránea, que suponen el 57% de la flora, siendo el 11% del total son endémicos de la Península Ibérica y el N de Marruecos, el 4% de la Península Ibérica y el 4% del SO de la Península.

La singularidad de su flora es muy alta debido al gran número de endemismos que contiene, lo que determina que posea un número muy elevado de especies protegidas incluidas en el Catálogo de Especies Amenazadas de Andalucía. En Huelva habitan 10 taxones en peligro de extinción y 27 vulnerables, a los que hay que añadir 21 incluidos en el régimen de protección especial.

A pesar de que casi un 40% de la flora son especies que pueden aparecer en toda la provincia, la geografía onubense puede ser separada de norte a sur en cuatro comarcas naturales diferenciadas por su sustrato geológico y por sus variables bioclimáticas, presentando cada una de ellas una distinta riqueza florística y una flora particular.

La Sierra de Aracena se caracteriza por su relieve montañoso y sus sustratos precámbricos y cámbricos. Presenta bioclima entre subcontinental y euoceánico, su termotipo es principalmente mesomediterráneo y su ombrotipo es mayormente subhúmedo. En ella podemos encontrar un millar de taxones, un 30% de los cuales son exclusivos de esta comarca en base, principalmente, a su mayor humedad.

El Andévalo posee una superficie de colinas y cerros formados por materiales principalmente del Carbonífero. Presenta bioclima mayormente euoceánico, con termotipo termomediterráneo y ombrotipo de subhúmedo a seco. Su flora comprende unos 800 taxones de los que sólo el 10% son exclusivos de esta comarca.

La comarca del Condado-Campiña corresponde a los depósitos miocénicos del Valle del Guadalquivir, que desarrollan suelos básicos utilizados en diversos cultivos. Presenta bioclima entre subcontinental y euoceánico, su termotipo es termomediterráneo y su ombrotipo oscila entre el subhúmedo y el seco. Reúne unos 850 taxones, estando el 90% de ellos representados en otras comarcas.

El Litoral de Huelva está cubierto por sedimentos del Cuaternario, principalmente arenas, y en su extensión podemos distinguir hábitats muy diferenciados, lo que determina su mayor riqueza de flora con respecto al resto de las comarcas. Presenta bioclima principalmente semihiperoceánico, con termotipo termomediterráneo y ombrotipo seco. Es la comarca más rica desde el punto de vista florístico, presentando casi 1300 taxones de los que el 40% son exclusivos de esta comarca.

PALABRAS CLAVE

Flora, Comarcas, Endemismo, Especies Amenazadas.

Introducción

En este capítulo haremos una introducción a la FLORA de la provincia de Huelva [1], analizando en primer lugar la Riqueza y Origen de la Flora [1.1], tomando como referencia la última flora completa publicada de la provincia, que sería la Flora Vascular de Andalucía Occidental (Valdés & al., 1987). De esta obra contabilizaremos el número de taxones vasculares presentes en la provincia y analizaremos la representación de las distintas familias, así como el origen geográfico de los taxones. A continuación, se tratará la Singularidad y protección legal (1.2.) de la flora onubense, basándonos en su grado de endemicidad y en su representación en el Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas, así como en el Listado de Especies en Régimen de Protección Especial.

Para poder pasar a un análisis más detallado de la flora hemos decidido abordarlo por comarcas naturales, por eso en la siguiente sección hemos descrito la Heterogeneidad ambiental de la provincia de Huelva [2], haciendo una breve exposición de su Biogeografía [2.1], de su Relieve, Geología y Edafología [2.2] y de su Bioclimatología [2.3].

En la última parte de este capítulo tratamos la FLORA de las comarcas naturales de la provincia de Huelva ([3]: Sierra de Aracena [3.1], Andévalo [3.2], Condado-Campiña [3.3] y Litoral [3.4], haciendo en cada una de ellas un repaso de sus hábitats más valiosos y mencionando los elementos de su flora más emblemáticos. En el caso del Litoral, por su mayor heterogeneidad de ambientes y su mayor riqueza y singularidad, para facilitar la lectura se ha dividido en distintos grupos de hábitats. La autoría de las especies y subespecies mencionadas en el texto se indica en las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3, y para las que no están incluidas en dichas tablas, se indica la primera vez que se citan.

[1]
Flora de la provincia de Huelva

[1.1]
Riqueza y Origen de la Flora

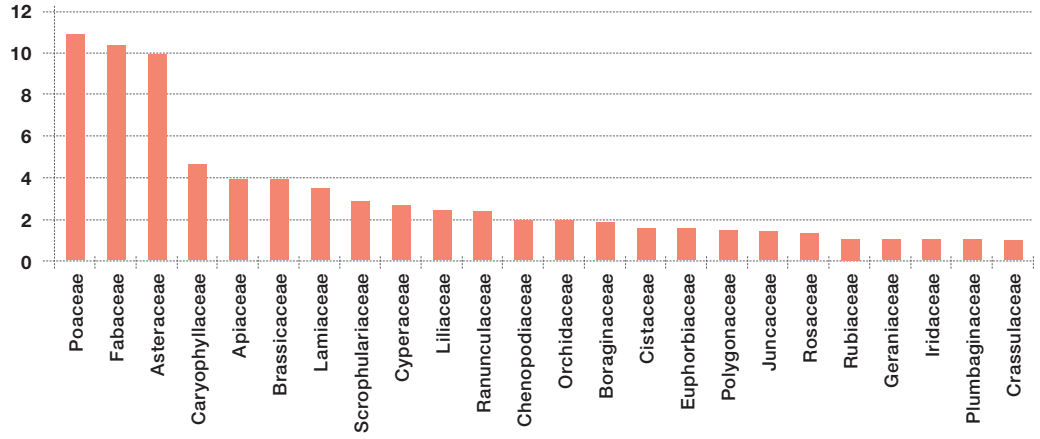
En base a la obra de Valdés & al. (1987), hasta esa fecha la flora de la provincia de Huelva estaba compuesta por 1672 taxones, incluyendo especies y subespecies de plantas vasculares: helechos y fanerógamas. Se trata de un número elevado, propio de su situación en la Región Mediterránea, la cual constituye un importante punto caliente de biodiversidad mundial (Myers & al., 2000; Mittermeier & al., 2005), debido a su alta heterogeneidad topográfica y climática (Cowling & al., 1996; Moreno-Saiz, 2011). Sin embargo, considerando su entorno andaluz, Huelva posee un número similar de taxones que Sevilla y Córdoba, pero se ve claramente superada por el resto de las provincias, llegando Granada a duplicar esta cifra (Hernández- Bermejo & al., 1999).

En cuanto a la distribución en familias, el 75,5% de los taxones de la flora vascular onubense pertenecen a 24 familias [FIGURA 03-1], y la mitad de ellos (49,8%) pertenecen únicamente a 8 familias: *Poaceae* (10,8%), *Fabaceae* (10,3%), *Asteraceae* (9,9%), *Caryophyllaceae* (4,6%), *Apiaceae* (3,9%), *Brassicaceae* (3,9%), *Lamiaceae* (3,5%) y *Scrophulariaceae* (2,9%).

FIGURA 03-1

Porcentajes de representación en la flora onubense de las distintas familias

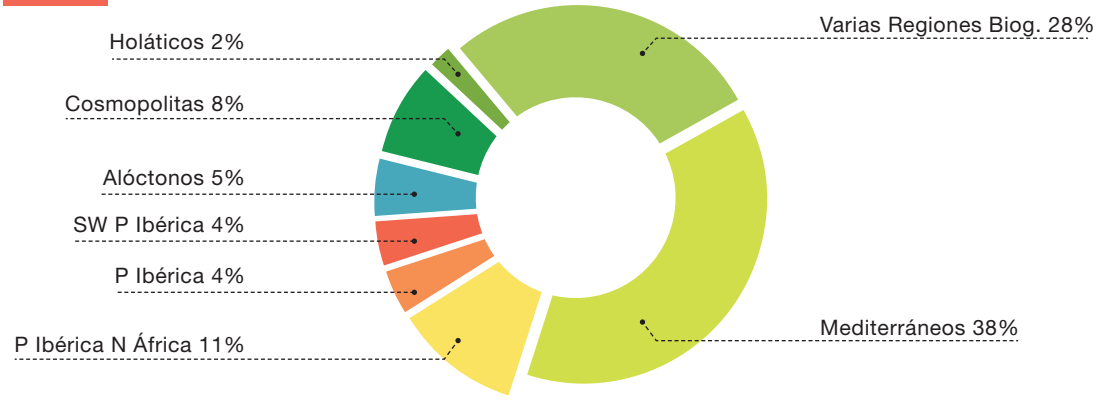
(sólo se representan las familias con porcentaje superior al 1%)



Con respecto a la distribución de estos taxones [FIGURA 03-2], el 8% son de distribución cosmopolita, es decir, se distribuyen por la mayor parte del Planeta. Debido a la capacidad del agua para suavizar el clima, por su alto calor específico, muchos de estos taxones son plantas acuáticas, como algunas lentejas de agua -*Lemna spp.*-, o plantas hidrófilas, como las especies de espadañas o eneas -*Typha spp.*-, algunos juncos -*Juncus spp.*- o el carrizo -*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Un 2% de los elementos de la flora onubense se distribuyen por todo el Reino Holártico, es decir, por el hemisferio norte, como algunas especies del género *Asplenium*.

FIGURA 03-2

Porcentajes de taxones de la flora onubense en función de sus áreas de distribución



El 28% del total se distribuyen por varias Regiones Biogeográficas, estando representados además de en la Región Mediterránea en otras Regiones colindantes o no, entre las que destaca por su alta frecuencia de taxones la Región Eurosiberiana. Entre estos taxones podrían citarse diversas especies de árboles caducifolios de ribera propios de la Europa templada, que resisten las condiciones de sequía estival del ambiente mediterráneo gracias a la humedad edáfica de estas localizaciones, como el fresno (*Fraxinus angustifolia*), olmo (*Ulmus minor*), aliso (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), chopo (*Populus nigra*) y álamo (*Populus alba*). En este grupo se incluyen también especies propias de la Europa Atlántica, representadas en las zonas más oceánicas de la Región Mediterránea, como algunas especies propias de brezales y turberas, como es el caso del brezo de turberas -*Erica ciliaris* L.- [LÁMINA 03-4.2], el tojo enano -*Ulex minor* Roth- [LÁMINA 03-7.8] o *Simethis mattiazzii* (Vand.) Sacc.

El 57% de los taxones son exclusivos de la Región Mediterránea, pudiendo existir también en la Región Macaronésica. Un 38% de los taxones tienen una distribución más o menos amplia en la Región Mediterránea, como es el caso de muchos de los taxones de la familia *Cistaceae*, el 11% del total son endémicos de la Península Ibérica y el N de Marruecos, el 4% lo son de la Península Ibérica y el 4% se distribuyen únicamente en el SO de la Península.

A estas cifras habría que añadir un 5% de taxones no nativos introducidos de otras zonas del Mundo que se han naturalizado en la provincia, como la vinagreta (*Oxalis pes-caprae* L.), un arqueofito introducido en época remota y originario de Sudáfrica que está extendido por toda la provincia. Algunas de estas plantas exóticas se consideran invasoras, ya que pueden alterar o poner en peligro la conservación de algunos hábitats o especies nativas. Es el caso de *Spartina densiflora* Brongn., que invade las marismas mareales de Huelva. Este porcentaje de especies alóctonas, sin duda, se ha incrementado de forma preocupante desde la fecha de publicación de la obra de Valdés & al. (1987), que hemos utilizado para estimar estos porcentajes. Así, algunas especies invasoras se han naturalizado y extendido posteriormente, siendo en la actualidad importantes amenazas para nuestra biodiversidad. Es el caso, por ejemplo, de la uña de gato (*Carpobrotus edulis* (L.) N.E. Br), que cubre los sistemas dunares, y de las múltiples especies de *Acacia* que se extienden con rapidez y virulencia por toda la provincia.

[1.2]
Singularidad y protección legal.

Como se ha visto en el punto anterior, el 19% de los taxones onubenses poseen áreas de distribución íbero-marroquí, ibérica o están limitados al SO de la Península. Este dato ya apunta a la importancia de la singularidad de la flora de Huelva y explica, en parte, la gran abundancia de taxones amenazados, ya que este grupo de endemismos constituyen la mayor parte de la flora amenazada onubense. Así, de acuerdo con los datos aportados por Bañares & al. (2010), en la provincia de Huelva habitan 40 taxones de flora vascular amenazados, siendo esta cifra únicamente superada en España por las provincias de Granada, Cádiz y Málaga, así como por las dos provincias del archipiélago canario.

En el Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas, publicado en el Decreto 23/2012, el número de especies que se localizan en la provincia de Huelva son 37: 10 en peligro de extinción y 27 vulnerables [TABLA 3-1], a las que habría que añadir 21 especies incluidas en el régimen de protección especial [TABLA 3-2].

TABLA 03-1

Especies onubenses incluidas en el Catálogo Andaluz de Especies Amenazadas

(Decreto 23/2012). La presencia en Huelva y su distribución en las comarcas está fundamentada principalmente en Valdés & al. (1987), Blanca & al. (1999 y 2000) y Delgado-Váquez & Plaza-Arregui (2010), así como en otras referencias que se citan en el texto.

	Sierra	Andévalo	Condado Campiña	Litoral
CATÁLOGO ANDALUZ DE ESPECIES AMENAZADAS: EN PELIGRO DE EXTINCIÓN				
Avellara fistulosa (Brot.) Blanca & C. Díaz				+
Hydrocharis morsus-ranae L.				+
Linaria lamarckii Rouy (=*L. polygalifolia* subsp. *lamarckii* (Rouy) D.A. Sutton)				+
Linaria tursica Valdés & Cabezudo				+
Marsilea batardae Launert		+		
Onopordum hinojense Talavera et al. (=*O. dissectum* Murb.)				+
Rhynchospora modesti-lucennoi Castrov.		+		+
Rorippa valdes-bermejoi (Castrov.) Mart. Laborde & Castrov.				+
Thymus albicans Hoffmanns. & Link				+
Utricularia australis R. Br.				+
CATÁLOGO ANDALUZ DE ESPECIES AMENAZADAS: VULNERABLES				
Adenocarpus gibbsianus Castrov. & Talavera				+
Allium pruinatum Link ex Spreng.				+
Althenia orientalis (Tzvelev) P. García-Murillo & Talavera				+
Astragalus algarbiensis Bunge				?
Campanula alata Desf. (=*C. primulifolia* Brot.)	+			
Carex helodes Link		+		
Caropsis verticillato-inundata (Thore) Rauschert				+
Coincya longirostra (Boiss.) Greuter & Burdet		+		
Cynomorium coccineum L. subsp. *coccineum*				+
Dianthus hinoxianus Gallego (=*D. broteri* auct. proparte)			•	+
Euphorbia transtagana Boiss.			•	+
Isoetes durieui Bory	+	+		
Juniperus oxycedrus subsp. *macrocarpa* (Sm.) Ball				+
Lathyrus nudicaulis (Willk.) Amo				+
Marsilea strigosa Willd.		+	+	+
Micropyropsis tuberosa Romero Zarco & Cabezudo				+
Nuphar luteum (L.) Sm. subsp. *luteum*				+
Nymphaea alba L.				+
Ononis azcaratei Devesa				+
Peucedanum lancifolium Hoffmanns. & Link ex Lange				+
Picris willkommii (Sch. Bip.) Nyman		+	•	
Plantago algarbiensis Samp.				+
Scilla odorata Link (=*S. verna* subsp. *ramburii* (Boiss.) K. ? Richt.		?		+
Utricularia gibba L. (=*Utricularia exoleta* R. Br.)			+	+
Viola lactea Sm.				+
Vulpia fontquerana Melderis & Stace				+
Wolffia arrhiza (L.) Horkel ex Wimm.			+	+

+: presente en la comarca; •: presente en la comarca pero en introgresiones de otras comarcas limítrofes; ?: presencia dudosa).

TABLA 03-2

Especies onubenses incluidas en el Listado de Especies en Régimen de Protección Especial (Decreto 23/2012). La presencia en Huelva y su distribución en las comarcas está fundamentada principalmente en Valdés & al. (1987), Blanca & al. (1999 y 2000) y Delgado-Váquez & Plaza- Arregui (2010), así como en otras referencias que se citan en el texto.

	Sierra	Andévalo	Condado Campiña	Litoral
Armeria velutina Wellw. ex Boiss. & Reut				+
Asplenium billotii F. W. Schultz	+	+		+
Corema album (L.) D. Don				+
Cymodocea nodosa (Ucria) Asch.				+
Erica andevalensis Cabezudo & Rivera		+	•	•
Frangula alnus subsp. *baetica* (Willk. & Reverchon) Devesa	+	+		+
Gaudinia hispanica Stace & Tutin		•	•	+
Isoetes setaceum Lam.		+	+	+
Limonium ovalifolium (Poir.) Kuntze				+
Loeflingia baetica Lag.			•	+
Narcissus assoanus Dufour ex Schuly. & Schult. fil. (=*N. fernandesii* Pedro)		+		
Narcissus cavanillesii Barra & G. López			+	
Narcissus triandrus L.	+	+		
Pilularia minuta Durieu		+		+
Prunus avium L.	+			
Prunus insititia L.	+			
Sedum maireanum Sennen				+
Silene mariana Pau	+			
Spiranthes spiralis (L.) Chevall	+	+		
Thymus carnosus Boiss				+
Zostera noltii Hornem				+

+: presente en la comarca; •: presente en la comarca pero en introgresiones de otras comarcas limítrofes; ?: presencia dudosa).

[2] Heterogeneidad ambiental de la provincia de Huelva

la flora de Huelva no se reparte de manera uniforme en la provincia, sino que pueden diferenciarse distintas zonas florísticas en función de las características ecológicas que presentan. Domínguez (1988) publicó las bases para la sectorización biogeográfica de la Flora Vascular de Andalucía Occidental (Valdés & al., 1987), reconociendo para Huelva 7 unidades: Sierra de Aracena, Sierra Norte, Andévalo, Condado-Aljarafe, Campiña, Litoral y Marismas, las cuales vamos a reunir en cuatro comarcas naturales en el presente capítulo: Sierra de Aracena, Andévalo, Condado-Campiña y Litoral, basándonos principalmente en las características biogeográficas, geológicas, edafológicas y bioclimáticas.

[2.1] Biogeografía

Desde el punto de vista biogeográfico la provincia de Huelva se encuentra situada en el Reino Holártico, que ocupa la mayor parte del hemisferio norte del Planeta, y dentro de éste, en la Región Mediterránea, caracterizada por el clima del mismo nombre en el que la estación más seca coincide con la más calurosa, el verano. Esta región, a su vez, está dividida en provincias corológicas en función de las variaciones existentes en la bioclimatología, geología, edafología y situación geográfica. En Huelva están presentes tres provincias corológicas, cada una de ellas con elementos propios y singulares que las definen.

El norte de Huelva pertenece a la provincia Mediterránea Ibérica Occidental, subprovincia Luso-Extremadurense y sector Mariánico-Monchiquense (Rivas-Martínez & al., 2007). Se caracteriza por los sustratos silíceos y las precipitaciones primaverales, fuera de la influencia litoral del Atlántico. Domínguez (1988) reconoce en esta zona las unidades de Sierra de Aracena, Sierra Norte y Andévalo. La Sierra Norte, que ocuparía la parte más oriental de la Sierra de Aracena y del Andévalo, se diferenciaría de estas comarcas de forma gradual, como indica el propio autor, no observándose grandes diferencias en su flora que justifiquen su segregación como una comarca independiente en este trabajo.

La extensión del Valle del Guadalquivir dentro de Huelva se correspondería con la provincia Bética, sector Hispalense (Rivas-Martínez & al., 2007), y se caracteriza por sus suelos básicos. Se corresponde con las unidades descritas por Domínguez (1988) como Condado-Aljarafe y Campiña de Huelva. Tampoco en esta ocasión hemos encontrado criterios para separarlas florísticamente, por lo que serán tratadas como la comarca Condado-Campiña.

La provincia Lusitano-Andaluza Litoral se caracteriza por su poca continentalidad, es decir, por la estrecha amplitud térmica entre los fríos invernales y el calor estival, debido a la influencia del Océano Atlántico. La parte sur de esta provincia corológica, que incluye las costas del Baixo Alentejo y el Algarve portugués, así como las de Huelva y Cádiz, se reconocen como la subprovincia Gaditano-Onubo-Algarviense, y dentro de ésta se reconoce el sector Onubense (Rivas-Martínez & al., 2007), que constituye la comarca Litoral de la provincia de Huelva, en la que hemos integrado las Marismas del Guadalquivir que Domínguez (1988) trataba como una unidad aparte.

[2.2] Relieve, Geología y Edafología

El norte de la provincia lo integra el extremo occidental de Sierra Morena, correspondiente al Macizo Hespérico, constituido por materiales precámbricos y paleozoicos plegados en la orogenia hercínica y erosionados desde ese momento. Esta zona se divide en dos partes:

La zona norte forma parte de la denominada Ossa-Morena y coincide mayormente con la comarca de Sierra de Aracena, cuya altura suele superar los 300 m s.n.m. en casi toda su extensión, salvo en los valles fluviales, formada por sierras montañosas [FIGURA 03-3A]. Está formada por rocas metamórficas del Precámbrico al Cámbrico, plegadas en una característica orientación NO-SE. Los principales materiales son pizarras, cuarcitas, filitas y esquistos, apareciendo núcleos de rocas volcánicas y plutónicas, gabros

y granitos, así como afloramientos de rocas calizas en el macizo central, desde Aracena hasta el sur de Fuenteheridos (Instituto Geológico y Minero de España, 1970). Los suelos que se desarrollan son pobres, fundamentalmente luvisoles, cambisoles y regosoles, formándose en algunos cauces fluvisoles y cambisoles cálcicos sobre las rocas calizas (CSIC-IARA, 1989; Zoido-Naranjo, 2014).

La zona meridional de Sierra Morena constituye la comarca del Andévalo, que es una zona formada por colinas y cerros que rara vez superan los 300 m s.n.m. [FIGURA 03-3A]. Está formada en su mayor parte por materiales del Carbonífero, principalmente pizarras y grauvacas, apareciendo en su parte central bloques de materiales del Devónico, fundamentalmente pizarras y cuarcitas (Instituto Geológico y Minero de España, 1970). Sobre estos sustratos se desarrollan principalmente cambisoles, regosoles y luvisoles. En esta zona cabe resaltar los materiales volcánicos que constituyen la denominada Faja Pirítica, que presenta grandes yacimientos de pirita y sulfuros, sobre los que se desarrollan suelos rankers (CSIC-IARA, 1989; Zoido- Naranjo, 2014).

El sur de la provincia corresponde a zonas de la Depresión Bética que quedaron hundidas en la orogenia alpina y que se rellenaron de sedimentos del Neógeno y Cuaternario, resultado de la erosión de Sierra Morena y de sedimentos eólicos arrastrados desde la costa. Esta zona puede ser dividida en dos partes:

- La zona más septentrional, en contacto con el Andévalo, constituye la comarca Condado-Campiña, extendiéndose por el oeste hasta Lepe [FIGURA 03-3A]. Sus materiales proceden del Mioceno y son principalmente margas, que pueden estar cubiertas de arenas, areniscas, conglomerados, gravas, limos o arcillas de sedimentación posterior (Instituto Geológico y Minero de España, 1970). Los suelos que se desarrollan son ricos y profundos, tradicionalmente cultivados desde la antigüedad. Principalmente son suelos básicos: vertisoles crómicos, cambisoles cálcicos, regosoles calcáreos, fluvisoles calcáreos y xerosoles cálcicos (CSIC-IARA, 1989).

- La zona más meridional, en contacto con la costa, constituye la comarca Litoral [FIGURA 03-3A]. En ella los sedimentos más antiguos son enterrados por los sedimentos del Plioceno y el Cuaternario, principalmente arenas, limos y gravas (Instituto Geológico y Minero de España, 1970), siendo los arenosoles los suelos más abundantes (CSIC-IARA, 1989). En esta zona se desarrollan complejos de marismas en las desembocaduras de los ríos Guadalquivir, Tinto, Odiel, Piedras, Carreras y Guadiana, donde sedimentan materiales finos, principalmente limos y arcillas.

[2.3] Bioclimatología

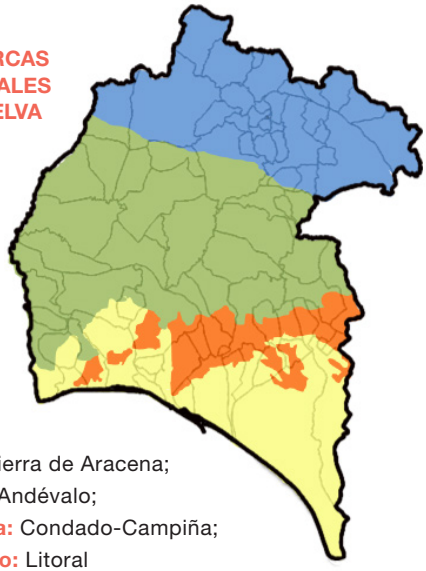
De acuerdo con los datos e índices publicados por Rivas-Martínez & Rivas-Saenz (1996-2018), Huelva posee un Bioclima Mediterráneo Pluviestacional Oceánico. Con respecto al índice de continentalidad Ic, que expresa en grados centígrados la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y la del mes más frío del año, en Huelva encontramos, dentro del tipo Oceánico, los subtipos semihiperoceánico (11-14), presente en localidades de la comarca Litoral; euoceánico (14-17), el más frecuente en toda la provincia; y semicontinental (17-21), que aparece en localidades de la comarca Sierra de Aracena y del este del Andévalo y Condado [FIGURA 03-3B].

FIGURA 03-3

Comarcas naturales de Huelva, Continentalidad, Termotipos y Ombrotipos

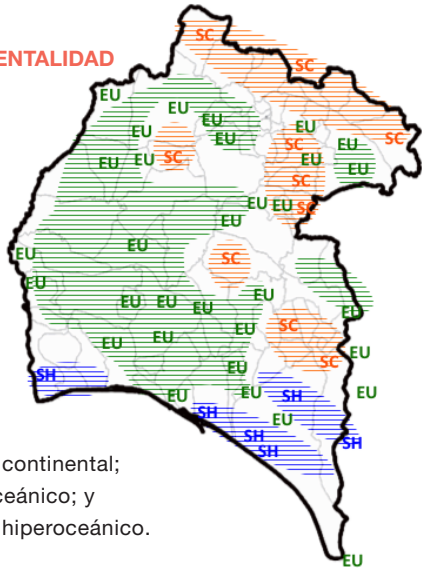
FUENTE: Comarcas naturales definidas en base a los datos de Zoido-Naranjo (2014) y del Instituto Geológico y Minero de España (1970). Mapas bioclimáticos elaborados con los datos de las estaciones publicadas por Rivas-Martínez & Rivas-Saenz, (1996-2018). Mapa de Huelva con los términos municipales (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía).

A
COMARCAS NATURALES DE HUELVA



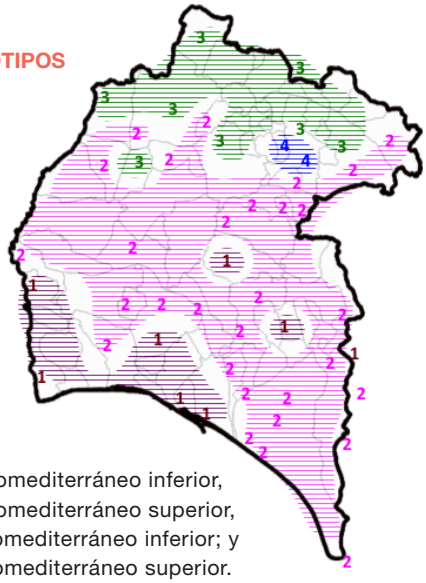
Azul: Sierra de Aracena;
Verde: Andévalo;
Naranja: Condado-Campiña;
Amarillo: Litoral

B
CONTINENTALIDAD



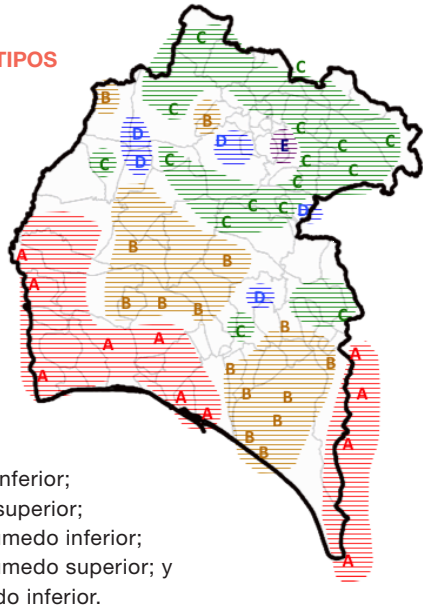
SC: semicontinental;
EU: euoceánico; y
SH: semihiperoceánico.

C
TERMOTIPOS



1: termomediterráneo inferior,
2: termomediterráneo superior,
3: mesomediterráneo inferior; y
4: Mesomediterráneo superior.

D
OMBROTIPOS



A: seco inferior;
B: seco superior;
C: subhúmedo inferior;
D: subhúmedo superior; y
E: húmedo inferior.

El termotipo se establece en función del índice de termicidad It, que combina la temperatura media anual, la temperatura media de las máximas y la temperatura media de las mínimas. De acuerdo con los datos e índices publicados por Rivas-Martínez & Rivas-Saenz (1996-2018), en Huelva aparecen cuatro termotipos [FIGURA 03-3C]: termomediterráneo inferior (400-450), que se presenta en el occidente de la comarca Litoral y en puntos del este del Andévalo y Condado; termomediterráneo superior (350-400), que ocupa la mayor parte de las comarcas del Andévalo y Condado-Campiña, así como el este de las comarcas del Litoral y Sierra de Aracena; mesomediterráneo inferior (285-350), distribuido por la mayor parte de la Sierra de Aracena; y mesomediterráneo superior (220-285), registrado sólo en algunas estaciones del este de la Sierra de Aracena.

En cuanto a las lluvias, el índice ombrotérmico (Io) es el cociente entre la suma de la precipitación media de los meses cuya temperatura media es superior a cero grados centígrados y la suma de las temperaturas medias mensuales superiores a cero grados centígrados. De acuerdo con los datos e índices publicados por Rivas-Martínez & Rivas-Saenz (1996-2018), en Huelva aparecen cinco ombrotipos [FIGURA 03-3D]: a) seco inferior (2-2,8), en la comarca Litoral occidental, adentrándose hacia el interior del Andévalo por el valle del Guadiana; b) seco superior (2,8-3,6), en la comarca Litoral oriental y zona central del Andévalo, apareciendo puntualmente en la Sierra de Aracena; c) subhúmedo inferior (3,6-4,8), predominando en la Sierra de Aracena y en el este de las comarcas de Condado-Campiña y Andévalo; d) subhúmedo superior (4,8-6), aparece en puntos de Sierra de Aracena y este del Andévalo; y e) húmedo inferior (6-9), que aparece en algunas estaciones del este de la Sierra de Aracena.

[3]
Flora de las comarcas naturales de la provincia de Huelva

de acuerdo con lo expuesto en la Flora Vascular de Andalucía Occidental (Valdés & al., 1987), 648 taxones (39% de la flora) son comunes a todas las comarcas. De ellos, en la TABLA 3-3 se muestran aquellos taxones autóctonos que son importantes elementos del arbolado y de los matorrales onubenses, de manera que en cada comarca se comentarán únicamente los elementos característicos de estas formas de crecimiento, así como otros taxones que constituyan matas o plantas herbáceas que resulten ser elementos singulares, haciendo hincapié en las especies amenazadas protegidas actualmente por la legislación andaluza vigente [TABLAS 03-1 Y 03-2].

Entre las especies presentes en todas las comarcas de la provincia, algunas especies son notables por su frecuencia y/o abundancia en todas ellas, sería el caso del lentisco -*Pistacia lentiscus*-, del torvisco -*Daphne gnidium*- o de las esparragueras *Asparagus acutifolius* y *A. aphyllus*, presentes en los matorrales de toda la provincia; o de la zarzamora -*Rubus ulmifolius*-, liana espinosa que aparece en los suelos húmedos. Otras, por el contrario, a pesar de estar citadas en todas las comarcas constituyen taxones raros en todas ellas como es el caso de *Anagyris foetida*, de la cual no hemos podido ni siquiera confirmar su presencia en la Sierra de Aracena y aparece en puntos dispersos en el resto de la provincia.

Algunas especies presentan, por su ecología, predilección por algunas de las comarcas naturales establecidas, apareciendo en menor frecuencia en otras. Es el caso de algunas especies termófilas que son abundantes en el sur de la provincia y que su frecuencia desciende hacia la Sierra, como es

el caso del palmito -*Chamaerops humilis*- y del mirto -*Myrtus communis*-. También ocurre con algunas especies que prefieren los suelos básicos, que aparecen con frecuencia en la comarca natural de Condado-Campiña pero que son más localizadas en el resto, como por ejemplo la jara *Cistus albidus* [LÁMINA 03-3.1], que es frecuente en el Condado- campiña, aparece en la Sierra de Aracena y el Andévalo asociada a enclaves de rocas calizas y en la comarca Litoral sólo aparece en arenas con abundancia de conchas, como es el caso de la Cascajera en el Paraje Natural Marismas del Odiel. En otros casos se trata de especies que prefieren lugares húmedos, que son frecuentes en la Sierra de Aracena, pero que pueden presentarse puntualmente en otras comarcas, como es el caso del madroño -*Arbutus unedo*-.

TABLA 03-3

Especies autóctonas arbóreas o arbustivas que se presentan en todas las comarcas naturales onubenses

Familia	Especie
GIMNOSPERMAS	
Pinaceae	*Pinus pinaster* Aiton
Pinaceae	*Pinus pinea* L.
ANGIOSPERMAS DICOTILEDÓNEAS	
Anacardiaceae	*Pistacia lentiscus* L.
Apocynaceae	*Nerium oleander* L.
Cistaceae	*Cistus albidus* L.
Cistaceae	*Cistus crispus* L.
Cistaceae	*Cistus ladanifer* L.
Cistaceae	*Cistus monspeliensis* L.
Cistaceae	*Cistus salviifolius* L.
Ericaceae	*Arbutus unedo* L.
Ericaceae	*Calluna vulgaris* (L.) Hull
Fabaceae	*Anagyris foetida* L.
Fabaceae	*Genista hirsuta* Vahl
Fabaceae	*Genista triacanthos* Brot.
Fabaceae	*Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss.
Fabaceae	*Ulex eriocladus* C. Vicioso
Fagaceae	*Quercus coccifera* L.
Fagaceae	*Quercus rotundifolia* Lam.
Fagaceae	*Quercus suber* L.
Lamiaceae	*Lavandula stoechas* L.
Lamiaceae	*Phlomis purpurea* L.
Lamiaceae	*Rosmarinus officinalis* L.

Familia	Especie
ANGIOSPERMAS DICOTILEDÓNEAS	
Lamiaceae	*Teucrium fruticans* L.
Lamiaceae	*Thymus mastichina* L.
Myrtaceae	*Myrtus communis* L.
Oleaceae	*Olea europaea* L.
Oleaceae	*Phillyrea angustifolia* L.
Oleaceae	*Phillyrea angustifolia* L.
Rhamnaceae	*Rhamnus alaternus* L.
Rhamnaceae	*Rhamnus lycioides* L.
Rosaceae	*Crataegus monogyna* Jacq.
Rosaceae	*Pyrus bourgaeana* Decne
Rosaceae	*Rubus ulmifolius* Schott
Salicaceae	*Populus alba* L.
Salicaceae	*Populus nigra* L.
Salicaceae	*Salix atrocinerea* Brot.
Salicaceae	*Salix fragilis* L.
Tamaricaceae	*Tamarix africana* Poir.
Thymeleaceae	*Daphne gnidium* L.
Ulmaceae	*Ulmus minor* Mill.
ANGIOSPERMAS MONOCOTILEDÓNEAS	
Arecaceae	*Chamaerops humilis* L.
Liliaceae	*Asparagus acutifolius* L.
Liliaceae	*Asparagus aphyllus* L.
Liliaceae	*Ruscus aculeatus* L.

En otros casos, la presencia de una especie en todas las comarcas se debe en gran parte a la acción humana. Así, especies como la aulaga -*Genista hirsuta*- y el endemismo del sudoeste de la Península *Ulex eriocladus* [LÁMINA 03-7.7], que no habitan en suelos arenosos, sólo alcanzan a colonizar la comarca del Litoral en infraestructuras creadas por el hombre con materiales provenientes de otras zonas, como es el caso de la carretera que atraviesa el Paraje Natural Marismas del Odiel.

Un caso particular es el del cantueso -*Lavandula stoechas*-, que acompaña los jarales y jaguarzales de toda la provincia, pero que se presenta en tres subespecies separadas en sus distribuciones (Muñoz-Rodríguez & al., 2008). *L. stoechas* subsp. *stoechas*, con su porte abierto y sus inflorescencias elipsoides, se encuentra en la Sierra de Aracena. Por su parte, *L. stoechas* subsp. *luisieri* (Rozeira) Rozeira [LÁMINA 03-5.4], que es una planta grisácea erguida que presenta inflorescencias prismáticas, se distribuye principalmente por el Andévalo. Por último, *L. stoechas* subsp. *sampaiana* Rozeira, que presenta inflorescencias largamente pedunculadas, se presenta en las zonas arenosas del Litoral y aparece de nuevo en el norte de la Sierra de Aracena, en las zonas limítrofes con Sevilla y Extremadura.

[3.1]
Sierra de Aracena

Como hemos visto, se trata de la comarca con mayor altura de la provincia y con relieve más abrupto, además de ser la de mayor continentalidad, menor termicidad y mayores precipitaciones. En esta zona, de acuerdo con Valdés & al. (1987), se reconocían un total de 1034 taxones, de los cuales aproximadamente el 30% eran singulares de esta zona, mientras que el resto podían encontrarse en otras comarcas.

Además de encinares -*Q. rotundifolia*-, la mayor humedad propicia la aparición de alcornoques -*Quercus suber*-, que han sido sustituidos en parte por castañares -*Castanea sativa* Mill.- y pinares de pino marítimo -*Pinus pinaster*-, y que se encuentran en gran medida explotados en régimen de dehesas. Además, en las zonas con termotipo mesomediterráneo aparecen robledales de robles melojos -*Q. pyrenaica* Willd.-, siendo particularmente interesantes los del pico del Castaño, el Talenque en Navahermosa y los de Arroyomolinos de León, en las estribaciones de la Sierra de Tentudía, donde incluso se encuentran adehesados. Es en esta comarca donde mejor representado está el género *Quercus* en Huelva, ya que en las partes más altas los alcornoques y robles están acompañados por quejigos -*Q. faginea* Lam.- y robles andaluces -*Q. canariensis* Willd.-, así como por las pequeñas matas de *Q. lusitanica* Lam. [LÁMINA 03-7.1].

Los matorrales altos que se desarrollan en las zonas húmedas están constituidos por madroños - *Arbutus unedo*- acompañados por un cortejo de especies características de esta comarca como el durillo -*Viburnum tinus* L.- o la adelfilla -*Bupleurum fruticosum* L.- [LÁMINA 03-2.5], o por escobones -*Cytisus striatus* (Hill) Rothm.-, a los que acompaña frecuentemente la singular *Genista falcata* Brot. [LÁMINA 03-4.7], taxón del oeste peninsular que en Andalucía sólo se localiza en esta Sierra y en la zona de la Pata del Caballo en el Andévalo oriental. Por su parte, en las zonas más secas y térmicas aparecen coscojares -*Q. coccifera*- con acebuches -*Olea europaea*-, espino negro -*Rhamnus lycioides*-, aladiernos -*Rh. alaternus*- y olivillas -*Teucrium fruticans*-, sobre los que trepa un cortejo de lianas entre las que destacamos la zarzaparrilla - *Smilax aspera* L.- y las madreselvas -*Lonicera implexa* Aiton- y -*L. periclymenum* subsp. *hispanica* Nyman-.

Es también muy común en la Sierra, sobre todo en su vertiente norte, la presencia de retamares de *Retama sphaerocarpa*, que si bien está presente en otras comarcas, es en las zonas ganaderas de la Sierra donde alcanza su mayor extensión, ya que esta especie, por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, contribuye a enriquecer los pastos de los que se alimenta el ganado.

En las zonas húmedas abundan los brezales, destacando por su frecuencia los de brezo rojo -*Erica australis* L.-, también frecuentes en zonas húmedas del Andévalo, a los que acompaña la jara cervuna -*C. populifolius* L.-. Son también característicos los nanobrezales de *E. umbellata* L., en los que habita *Genista tridentata* L. [LÁMINA 03-4.9], con sus característicos tallos alados, y *Halimium ocymoides* Willk. [LÁMINA 03-4.11]. Otras especies de brezos que son frecuentes en esta comarca son *E. arborea* L., *E. lusitanica* Rudolphi y el brezo de escobas -*E. scoparia* L.-. En las zonas más secas y térmicas se desarrollan los jarales típicos del Andévalo (*Cistus ladanifer*, *C. salviifolius* y *C. crispus*), así como jarales de *C. albidus* en los suelos desarrollados sobre rocas calizas, a los que acompaña de forma característica el matagallo -*Phlomis purpurea*-.

Otros arbustos característicos o singulares de esta comarca natural son el caducifolio cornicabra -*Pistacia terebinthus* L.- [LÁMINA 03-6.8], que recibe su nombre de las agallas en las que se transforman sus frutos tras ser atacados, que recuerdan los cuernos de una cabra; *Coronilla glauca* L. [LÁMINA 03-3.7], con sus frutos lomentáceos péndulos, que se encuentra sobre las rocas calizas; o *Genista polyanthos* R. Roemer ex Willd. [LÁMINA 03-4.8], arbusto de ramas punzantes que forma cambronales donde las pizarras afloran verticalmente y los suelos se desarrollan escasamente, como es el caso de la alineación de crestas formada por las sierras de Los Parrales, La Coronada, El Cuchillar y las cumbres de la Canaleja y la Retuerta, apareciendo también en las laderas de los ríos del Andévalo (Muñoz-Rodríguez & al., 2008).

Entre las especies propias de los pastizales de la Sierra de Aracena podemos destacar *Silene mariana*, en régimen de protección especial [TABLA 03-2]. Se trata de un endemismo del sur de la Península Ibérica presente en Ciudad Real y en diversas localidades de Andalucía occidental. *Narcissus triandrus* [LÁMINA 03-8.8] se encuentra en el valle central de Aracena, desde Aguafría hasta Arroyomolinos de León, y está considerada en régimen de protección especial [TABLA 03-2].

Los bosques caducifolios de roble melojo y de castaños son ricos en plantas vivaces como la peonía -*Paeonia broteri* Boiss. & Reut.- [LÁMINA 03-6.5]. Dentro de este grupo, entre las orquídeas destacan por su rareza dos especies que habitan en los suelos de los castañares (Sánchez-Gullón & Rubio-García, 2002), *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. [LÁMINA 03-8.3] y *Spiranthes spiralis* [LÁMINA 03-8.9]. Esta última especie está incluida en el Catálogo de Especies Amenazadas de Andalucía en régimen de protección especial [TABLA 03-2], sin embargo, es curioso que la especie que aparece en la Directiva 92/43/CEE, conocida como Directiva Hábitat, en el listado de Especies de Interes Comunitario que requieren una proteccion estricta es *S. aestivalis* (Poir.) Rich., la cual se localiza orillas de cursos fluviales de Aracena y Andévalo.

Los bosques riparios característicos están formados por alisos -*Alnus glutinosa*- y fresnos - *Fraxinus angustifolia*-, aunque son frecuentes los chopos -*Populus nigra*-, álamos -*P. alba*-, sauces arbóreos -*Salix alba* L. y distintas especies de sauces arbustivos. En ellos pueden localizarse el sanguino -*Frangula alnus* subsp. *baetica*- [LÁMINA 03-4.5], especie protegida que aparece también en la comarca Litoral [TABLA 03-2]. Son precisamente las alisedas que se forman en arroyos de aguas limpias el hábitat de la especie amenazada más exclusiva de la Sierra de Aracena, *Campanula alata* [LÁMINA 03-2.7], ca-

talogada como vulnerable [TABLA 03-1], la cual, a pesar de mantener todas sus poblaciones dentro del Parque Natural Sierra de Aracena y Picos de Aroche, presenta una disminución de sus poblaciones debida a la alteración de la calidad de sus aguas (Casimiro-Soriguer & al., 2010).

En estos bosques riparios pueden encontrarse elementos que, por ser objeto de cultivo en la zona, pueden ser cuestionados como de origen autóctono cuando aparecen en estado silvestre. Es el caso del cerezo -*Prunus avium*- [LÁMINA 03-6.10] o del ciruelo silvestre -*Prunus insititia*- [LÁMINA 03-6.11], así como del almez -*Celtis australis* L.- [LÁMINA 03-2.9], del cual aparecen bosquetes en la Sierra de Aracena, así como muy raro en la comarca del Andévalo. Las dos especies de *Prunus* mencionadas aparecen en el listado de plantas de especies en régimen de protección especial en Andalucía [TABLA 03-2], por lo que quedan protegidas ya sean autóctonas o asilvestradas (Vivero & al., 2000a y b).

La Sierra de Aracena, por su alta humedad, es la comarca natural en la que aparece mayor número de especies de helechos en Huelva. *Asplenium billotii* [LÁMINA 03-1.1], catalogada como especie en régimen de protección especial en Andalucía [TABLA 03-2], aparece en esta comarca así como en la del Andévalo, pudiendo aparecer puntualmente en la comarca del Litoral. *Dryopteris affinis* (Lowe) Fraser-Jenk. subsp. *affinis* es un helecho con frondes en roseta muy raro, que habita en sotobosques sombríos en zonas húmedas, localizándose esporádicamente en puntos de la Sierra de Aracena y propuesto para su catalogación como vulnerable por Cabezudo & al. (2005). Son también exclusivos de esta comarca *Polystichum setiferum* (Forssk.) T. Moore ex Woyn. [LÁMINA 03-1.10], *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newman, el helecho hembra (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth) [LÁMINA 03-1.2], *Cystopteris viridula* (Desv.) Desv. y *Blechnum spicant* (L.) Sm. [LÁMINA 03-1.3].

[3.2] Andévalo

Se trata de una comarca cuyo relieve son colinas y cerros formados principalmente por pizarras. En su mayor parte su clima es euoceánico, de termotipo termomediterráneo, presentando variaciones en la humedad, desde las zonas más secas del oeste hasta las zonas subhúmedas del este.

En la Flora Vascular de Andalucía Occidental en Valdés & al. (1987) se reconocían en esta comarca un total de 779 taxones, de los cuales la mayoría podían encontrarse en otras zonas, fundamentalmente en la Sierra de Aracena y en la comarca Litoral, con las que compartía más del 90% de sus taxones.

En la mayor parte del Andévalo los bosques climácicos serían encinares -*Q. rotundifolia*-, apareciendo alcornocales -*Quercus suber*- en las zonas húmedas. Estos bosques están actualmente transformados en dehesas o han sido sustituidos por repoblaciones de eucaliptos y coníferas, principalmente.

Los matorrales altos, maquis, sólo aparecen donde el terreno no permite el arado, y estarían formados por lentiscares -*Pistacia lentiscus*- con acebuches -*Olea europaea*-, siendo en ellos habitual la presencia del espino negro -*Rhamnus lycioides*- y del espárrago blanco -*Asparagus albus* L.-, especie esta última más frecuente sobre rocas calizas. Los jarales que se desarrollan son de jara pringosa -*Cistus ladanifer*-, aulagas -*Genista hirsuta*- y cantuesos -*Lavandula stoechas* subsp. *luisieri*- [LÁMINA 03-5.4], acompañados por los endemismos del sudoeste de la Península, *Ulex eriocladus* [LÁMINA 03-7.7] y *Cynara algarbiensis* Cosson ex Mariz [LÁMINA 03-3.9]. Una especie muy característica del matorral del Andévalo onubense, aunque puede aparecer también en zonas limítrofes, es *Lavandula viridis* L'Hér. [LÁMINA 03-5.5], que presenta brácteas verdosas en sus inflorescencias, y de la cual podemos observar

claramente el proceso de hibridación con *Lavandula stoechas*, de brácteas púrpuras, en las zonas donde ambas conviven.

En la zona occidental del Andévalo aparecen algunos elementos de gran interés de la flora onubense, como *Rhynchospora modesti-lucennoi*, que se comentará más tarde al hablar de las turberas del litoral, y la margarita *Daveaua anthemoides* Mariz [LÁMINA 03-3.11], que aparece en praderas higrófilas de Villanueva de los Castillejos, aunque aparece también en la Sierra de Aracena, siendo éstas las únicas citas españolas confirmadas de este endemismo íbero-tingitano (Sánchez Gullón & al., 2013). Es también el caso de *Narcissus assoanus* [LÁMINA 03-8.7], que se distribuye en el sur de Francia y en la Península Ibérica, considerada por Aedo (2013) como especie sinónima de *N. fernandesii*, que está catalogada en Andalucía como en régimen de protección especial [TABLA 03-2]. En Huelva sólo existe el testimonio de su presencia en Villanueva de los Castillejos, a través de un pliego revisado por Aedo (2013) y una cita en El Granado de Sánchez-Gullón & al. (2013).

En las laderas escarpadas de la zona aledaña al río Guadiana del occidente del Andévalo aparece un tipo de matorral de enorme singularidad en la provincia, ya que los lentiscares se enriquecen con la presencia de la sabina (*Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata* (Guss.) Nyman) [LÁMINA 03-1.12], la cual en el litoral forma sabinares sobre arenas estabilizadas (Muñoz-Rodríguez & al., 2008). En esta zona aparece también *Lavandula multifida* L. [LÁMINA 03-5.3], especie del oeste de la Región Mediterránea que sólo aparece en Huelva en el Puerto de la Laja (Sánchez-Gullón & al., 2005).

En el Andévalo las cuarcitas pueden dar lugar, por su mayor dureza, a cerros y roquedos en los que se localizan especies tan singulares como *Erodium mouretii* Pit. [LÁMINA 03-4.3] (Valdés & al., 2008), propuesto como especie en peligro de extinción por Cabezudo & al. (2005), y que se localiza en el N de África, en Badajoz y en Huelva, encontrándose únicamente en fisuras y cornisas cuarcíticas del Cerro del Águila, en La Puebla de Guzmán, lugar donde también se localiza el raro *Narcissus scaberulus* Henriq. (López-Tirado & al., 2006).

También, los barrancos que se forman por la erosión de los ríos dan lugar a roquedos donde habitan especies de interés como *Coincya longirostra*, localizada en el río Tamujo, afluente del río Tinto (Sánchez-Gullón & Cejuela, 2011), y de la que sólo se conoce una docena de poblaciones en Huelva, Córdoba, Jaén y Ciudad Real, estando en la categoría de especie vulnerable en Andalucía [TABLA 03-1].

La flora leñosa ribereña del Andévalo está formada principalmente por fresnos -*Fraxinus angustifolia*-, aunque en cauces de aguas permanentes puedes aparecer alisos -*Alnus glutinosa*-, chopos -*Populus nigra*- o álamos -*P. alba*-, incluso son frecuentes las olmedas -*Ulmus minor*-. En los cauces con estiaje más acusado aparecen adelfares -*Nerium oleander*- con la presencia del tamujo -*Flueggea tinctoria* (L.) G.L. Webster- [LÁMINA 03-4.4], especie endémica de la Península Ibérica. La zarzamora -*Rubus ulmifolius*- aparece en todos los cauces y lugares húmedos.

Entre los hábitats con mayor importancia florística en el Andévalo se encuentran las charcas y los arroyos, los cuales permiten el crecimiento en sus orillas o en sus suelos temporalmente inundados de algunas especies de helechos amenazados catalogados en el Decreto 23/2012. Es el caso de *Marsilea batardae* [LÁMINA 03-1.6], declarada en peligro de extinción [TABLA 03-1]. Es un helecho acuático de cuatro hojas endémico de la Península Ibérica, que habita en la zona meridional del Andévalo.

Otros helechos higrófilos destacables son Isoetes durieui [LÁMINA 03-1.4], del oeste de la Región Mediterránea, que aparece en suelos temporalmente encharcados del Andévalo y puntualmente en la

Sierra de Aracena, declarado como vulnerable [TABLA 03-1]; y *Pilularia minuta* [LÁMINA 03-1.9], considerado como en régimen de protección especial [TABLA 03-2], que es un pequeño helecho de hojas filiformes propio del occidente de la Región Mediterránea que vive en suelos arcillosos inundados temporalmente del sudoeste de la comarca del Andévalo y en la comarca Litoral.

Los arroyos estacionales serían también el hábitat de otra especie catalogada como vulnerable en Andalucía [TABLA 03-1], *Carex helodes*, endemismo del sudoeste de la Península Ibérica y el N de Marruecos, localizado en el Andévalo por Luceño & al. (2007).

En esta zona del Andévalo occidental existen construcciones de almacenamiento de agua que crean hábitats artificiales importantes para algunas especies de flora. Es el caso de los embalses y pantanetas ganaderas, donde se localiza por ejemplo una planta acuática rara, *Najas minor* All., que es una planta holártica de distribución muy dispersa por la Península Ibérica, que sin embargo es frecuente en esta zona de la comarca (Sánchez-Gullón & Rubio-García, 2002).

Otra zona de especial interés en el Andévalo es la Faja Pirítica que lo atraviesa. Es una zona rica en yacimientos de pirita y sulfuros, los cuales son arrastrados por las aguas de los ríos que la atraviesan, acidificando sus aguas y creando ecosistemas extremos por su acidez y contenido en metales pesados. Estos hábitats han dado lugar a una de las especies más emblemáticas de la flora de Huelva, *Erica andevalensis* [LÁMINA 03-4.1], catalogada en régimen de protección especial [TABLA 03-2]. Este brezo, si bien aparece también en provincias limítrofes, tienen en los bordes de los cauces contaminados del Andévalo su principal área de distribución, habiendo evolucionado para soportar altos niveles de acidez, de manera que, por ejemplo, sus semillas tienen el óptimo de germinación a pH 2 (Márquez-García & al., 2009).

Por último, en Ayamonte el extremo sudoccidental del Andévalo llega a contactar con las marismas litorales debido a la presencia de paleoacantilados calizos del Triásico que, por su dureza, se mantienen como cerros próximos a la costa. Esta zona constituye una de las áreas de mayor singularidad florística del Andévalo y de la provincia de Huelva, ya que en ella se desarrollan especies poco frecuentes como *Astragalus epiglottis* L., *Kundmannia sicula* (L.) DC. [LÁMINA 03-5.1], *Withania frutescens* (L.) Pauquy, *Anagyris foetida*, *Colutea hispanica* Talavera & Arista [LÁMINA 03-3-5] y *Thymus zygis* subsp. *sylvestris* (Hoffmanns. & Link) Cout. (Sánchez-Gullón, 1999; Sánchez-Gullón & al., 2005 y 2013).

En estos cerros habita un endemismo de Huelva, compartido con algunos cerros del vecino Algarve portugués, *Picris willkommii* [LÁMINA 03-6.6], declarada especie vulnerable [TABLA 03-1], amenazada por el desarrollo urbanístico y el pastoreo (De Vega-Durán & al., 2004d), la cual puede aparecer también en los suelos miocénicos propios de la comarca Condado-Campiña cercanos a Ayamonte.

[3.3] Condado-Campiña

Esta comarca natural reúne dos comarcas tradicionales reconocidas en la provincia, el Condado y la Campiña, y añade, en base a sus sustratos, terrenos más occidentales tradicionalmente incluidos en el Litoral, llegando hasta Lepe. La característica que más define esta comarca y la separa del resto son sus suelos básicos, procedentes de depósitos del Valle del Guadalquivir, los cuales han condicionado su amplia y antigua utilización como zonas de cultivos. Su clima va de euoceánico en el oeste a

subcontinental en el este, su termotipo es termomediterráneo y su ombrotipo va del seco inferior en su parte occidental al subhúmedo inferior en la oriental.

En esta comarca, de acuerdo con la Flora Vascular de Andalucía Occidental (Valdés & al., 1987), se reconocían un total de 841 taxones, compartiendo cerca del 90% de sus taxones con el resto de las comarcas onubenses. Como comarca natural, sus límites son difíciles de trazar ya que es muy frecuente la aparición de áreas en su interior cubiertas por arenas recientes, las cuales presentan la flora típica del litoral.

Sus suelos básicos sólo permitirían el desarrollo de encinares -*Quercus rotundifolia*-, aunque aparecen algunos alcornocales -*Q. suber*- en zonas de intrusismo de los suelos arenosos del litoral. Curiosamente, son estos últimos los bosques más visibles en la zona ya que los encinares, al desarrollarse en los suelos más ricos, han sido suplantados por cultivos (De Las Heras-Pérez, 2007). La vegetación arbustiva de la comarca ha sido también relegada a lindes de fincas y zonas escarpadas no cultivables, siendo en estas zonas muy frecuentes los coscojares - *Q. coccifera*-, en los que podemos encontrar algunos arbustos y matas típicos de estos suelos básicos como *Cistus albidus*, *Coronilla juncea* L. y *Micromeria graeca* (L.) Benth.

Por tanto, gran parte de su flora actual está compuesta por especies ruderales y mesegueras que aparecen en los lindes o como malas hierbas de los campos de cultivo, de manera que muchas de las especies protegidas o singulares que aparecen en esta comarca natural lo hacen como poblaciones finícolas de especies que tienen su distribución óptima en el Litoral [TABLAS 3-1 Y 3-2].

Entre las especies singulares que podemos encontrar en esta comarca natural, algunas están ligadas a los cultivos tradicionales, como *Linaria latifolia* Desf. [LÁMINA 03-5.8], *Linaria gharbensis* Batt. & Pit. (=*L. tartessiana* (3. Vicioso) Valdés), que se distribuye en Huelva y el norte de Marruecos y fue propuesta como en peligro de extinción por Cabezudo & al. (2005), y *Triguera osbeckii* (L.) Willk., cuya presencia ha sido confirmada en el Condado de Huelva, en La Palma del Condado, por Valdés & al. (2007). Se trata de un endemismo del sur de España y del norte de África, típica de suelos arcillosos y propuesta como vulnerable por Cabezudo & al. (2005). En cultivos leñosos de secano como almendros, se ha vuelto a localizar *Viscum cruciatum* Sieber ex Boiss., el muérdago colorado, que fue dada como extinta en Huelva.

Otras especies interesantes de esta comarca son las siguientes. *Narcissus cavanillesii*, endemismo del sudoeste de la Península Ibérica y del norte de África catalogado en régimen de protección especial en Andalucía [TABLA 03-2], crece en los suelos arcillosos de esta comarca. *Lythrum baeticum* Gonz. Albo [LÁMINA 03-5.11], propuesta por Cabezudo & al. (2005) como especie en peligro de extinción, habita en suelos húmedos y salobres, donde también es frecuente la presencia de *Arundo micrantha* Lam [LÁMINA 03-8.1].

Por último, en graveras y lagunas estacionales de esta comarca natural aparece *Marsilea strigosa* [LÁMINA 03-1.7], considerada vulnerable [TABLA 03-1], que puede también aparecer puntualmente en el Litoral.

[3.4] Litoral

Se trata de una comarca natural de paisajes generalmente llanos formados por sedimentos del Plioceno y del Cuaternario, que cubren los sedimentos miocénicos del Valle del Guadalquivir. La influencia costera se traduce en un clima hiperoceánico o euoceánico, de termotipo termomediterráneo y ombrotipo seco.

En la comarca litoral, de acuerdo con la Flora Vascular de Andalucía Occidental (Valdés & al., 1987), incluyendo las marismas del Guadalquivir, se reconocían un total de 1278 taxones, de los cuales aproximadamente el 40% eran únicos de esta comarca en la provincia de Huelva, mientras que el resto podían encontrarse en otras comarcas. Esta enorme riqueza florística y singularidad es consecuencia de la heterogeneidad que presentan sus hábitats, pareciéndonos entonces aconsejable abordar su exposición distinguiendo los siguientes hábitats: playas, dunas móviles, arenas estabilizadas, cauces, lagunas y marismas de agua dulce, turberas, lagunas salobres, marismas mareales y fondos marinos.

Playas

Las playas de la provincia de Huelva diferencian su flora en base al régimen de movilidad de sus arenas. Así, las playas del Espacio Natural de Doñana se transforman rápidamente en dunas móviles que se desplazan tierra adentro, mientras que, en otras como las del Espigón Juan Carlos I, la amplitud de la playa es mayor. Los elementos más visibles de la flora son la oruga de mar -*Cakile maritima* Scop.-, el lastón -*Elymus farctus* (Viv.) Runemark ex Melderis -, la lechetrezna marítima -*Euphorbia paralias* L.-, la corregüela de mar -*Polygonum maritimum* L.-, la algodonosa -*Otanthus maritimus* Hoffmanns. & Link-, el cardo marino -*Eryngium maritimum* L.- y la llamativa azucena de mar -*Pancratium maritimum* L.-.

Entre las especies acompañantes cabe citar, por su singularidad florística, *Linaria pedunculata* (L.) Chaz. [LÁMINA 03-5.9], así como *Linaria lamarckii* [LÁMINA 03-5.7], catalogada como especie en peligro de extinción [TABLA 03-1]. Esta última es un endemismo del sudoeste portugués y de las playas de Ayamonte, localidad en la que se extinguió su población en 2003 (Ortiz-Herrera & al., 2004c). A partir de semillas almacenadas, en el Laboratorio de Propagación Vegetal de la Junta de Andalucía se consiguió propagar y llevar a cabo varias reintroducciones en el litoral onubense. También es de destacar la presencia puntual en nuestras playas de la rara *Calystegia soldanella* (L.) R. Br. [LÁMINA 03-2.6] (López-Albacete & al., 2007b).

Dunas móviles

En los sistemas de dunas móviles, en primera línea y enfrentados a la maresía, aparece en Huelva los enebrales costeros de *Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa* [LÁMINA 03-1.11], catalogada como vulnerable [TABLA 03-1], que tienen su mejor representación en el Corral del Inglesillo, en el Espacio Natural de Doñana. En estos sistemas de dunas móviles, presentes entre Matalascañas y la desembocadura del Guadalquivir, se suceden las dunas coronadas con el barrón -*Ammophila arenaria* (L.) Link-, dejando entre los frentes dunares sucesivos corrales poblados de pinos piñoneros -*Pinus pinea*- con sotobosques de juncos, entre los que destaca por su abundancia el junco churrero -*Scirpoides holoschoenus* (L.) Soják-, y el típico matorral de dunas, donde habitan especies tan características como *Armeria pungens* Hoffmanns. & Link y *Artemisia crithmifolia* L.

En las zonas de arenas con menor movilidad y separadas de la maresía, aparecen camarinales de *Corema album* [LÁMINA 03-3-6], especie catalogada como de protección especial [TABLA 03-2], entre los cuales los más representativos se encuentran en las crestas del Médano del Asperillo. En estas arenas poco estabilizadas y pobres en nutrientes es donde encontramos el principal hábitat de *Linaria tursica*, catalogada como especie en peligro de extinción [TABLA 03-1]. Se trata de una pequeña planta que habita además en los cortafuegos, y cuya distribución abarca desde Mazagón

hasta la provincia de Cádiz, aunque la mayor parte de sus poblaciones se encuentran en Huelva (Valdés & al., 1999a). De hábitat similar es *Loeflingia baetica* [LÁMINA 03-5.10], en régimen de protección especial [TABLA 03-2], que aunque es característica de estos suelos arenosos, ha sido también citada en la comarca Condado-Campiña (Valdés & al., 2007), posiblemente debido a la aparición de introgresiones de zonas arenosas del litoral en esta comarca.

En las flechas litorales de la provincia aparecen retamares de retama blanca -*Retama monosperma* (L.) Boiss.-, acompañada de especies fieles a este tipo de formaciones como *Pycnocomon rutifolium* Hoffmanns. & Link [LÁMINA 03-6.12]. En estas zonas aparece *Thymus carnosus* [LÁMINA 03-7.6], catalogada en Andalucía como vulnerable [TABLA 03-1], que encuentra sus poblaciones mejor conservadas en la flecha litoral del río Piedras.

Arenas estabilizadas

En las zonas más secas, donde la capa freática está más profunda, las arenas estabilizadas del litoral onubense están cubiertas principalmente por sabinares de *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata* [LÁMINA 03-1.12], donde crece *Osyris lanceolata* Hochst. & Steud. [LÁMINA 03-6.4], que es un arbusto hemiparásito que roba nutrientes a los arbustos que le rodean a través de la presencia de haustorios en sus raíces. El matorral que aparece en estos sabinares es el característico monte blanco, que debe su nombre al jaguarzo blanco -*Halimium halimifolium* Willk.-, donde además encontramos el jaguarzo amarillo -*H. calycinum* (L.) K. Koch-, el cantueso -*Lavandula stoechas* subsp. *sampaiana*-, la romerina -*Cistus libanotis* L.- [LÁMINA 03-3-2], *Cytisus grandiflorus* DC., el herguén morisco -*Stauracanthus genistoides* (Brot.) G. Sampaio- y *S. boivinii* (Webb) Samp., especie esta última distribuida principalmente por el oeste del Litoral.

Es preciso mencionar la presencia de *Thymus albicans* [LÁMINA 03-7.5], tomillo catalogado en Andalucía como especie en peligro de extinción [TABLA 03-1], que sólo se localiza en el monte blanco de las zonas litorales del interior, entre el Algarve y Cádiz (Valdés & al., 1999b). Por su parte, *Onopordum hinojense* [LÁMINA 03-6.3] es un cardo onubense catalogado como especie en peligro de extinción [TABLA 03-1], del que existen sólo algunas poblaciones en las arenas estabilizadas del Espacio Natural de Doñana (Ortega-Olivencia, 2014).

En el monte blanco crecen, además, tres especies catalogadas como vulnerables debido a que su área de distribución se reduce a esta franja Litoral [TABLA 03-2]. La rascaviejas -*Adenocarpus gibbsianus*- [LÁMINA 03-2.1] es un arbusto endémico de Huelva que se caracteriza por sus legumbres cubiertas por tubérculos de color rojo, del que existen pocas poblaciones (De Vega & al., 2004a). La clavellina -*Armeria velutina*- [LÁMINA 03-2.2] se distribuye principalmente por Huelva, llegando al Algarve y a Sevilla, siendo muy frecuente en el monte blanco de la mitad este del Litoral. Por su parte, el clavel silvestre -*Dianthus hinoxianus*- [LÁMINA 03-3.12] crece en poblaciones localizadas en la misma zona onubense.

En las zonas más húmedas y con suelos más desarrollados aparecen matorrales altos de lentiscos -*Pistacia lentiscus*- y labiérnagos -*Phillyrea angustifolia*-, pudiendo aparecer puntualmente madroños -*Arbutus unedo*-. En el Espacio Natural de Doñana, cuando los suelos arenosos tienen la capa freática más superficial, se desarrolla el denominado monte negro, formado por el brezo de escobas -*Erica scoparia*-, al que acompaña la brecina -*Calluna vulgaris*-. Dos especies de tojos

ocupan posiciones vicariantes en estos suelos del litoral, *Ulex australis* Clemente se distribuye en la mitad oriental, mientras que *U. argenteus* Welw. ex Webb en la mitad occidental.

En los pastizales que se desarrollan sobre estas arenas estabilizadas cabe mencionar la presencia de varias especies interesantes. Las gramíneas *Vulpia fontquerana* [LÁMINA 03-8.10], cuya distribución incluye Cádiz, Huelva y Segovia, y *Gaudinia hispanica* [LÁMINA 03-8.4], distribuida por Huelva y Sevilla, están catalogadas como vulnerable la primera y en régimen de protección especial la segunda (Tablas 3.1 y 3.2). *Ononis azcaratei* [LÁMINA 03-6.2], especie descrita y conocida únicamente en Cádiz, ha sido localizada en una población con pocos individuos por Sánchez-Gullón & Sánchez-García (2002), en el pastizal de un alcornocal costero sobre arenas. En este grupo estaría también *Astragalus algarbiensis* [TABLA 03-1], raro endemismo íbero- marroquí que ha sido citado en Huelva (Valdés & al., 2007) pero del que no hemos localizado ni poblaciones ni indicaciones que avalen su presencia real en la provincia.

En los pastizales de zonas donde los suelos arenosos poseen una mayor proporción de arcillas y gravas, comunes en la zona occidental del litoral, aparecen otros elementos de interés. Es el caso de *Euphorbia transtagana*, endemismo de Portugal, Huelva y Tánger, catalogado como vulnerable [TABLA 03-1]. Esta especie fue localizada en 2006 en Cartaya (Sánchez-Gullón & Weickert, 2006) y desde entonces ha aparecido en diversas localidades de la comarca Litoral, así como en suelos ácidos dentro de la comarca Condado-Campiña. También en estos pastizales habitan otras especies catalogadas como vulnerables [TABLA 03-1], como *Plantago algarbiensis* [LÁMINA 03-6.9], endémico del Algarve y Huelva, y *Allium pruinatum* [LÁMINA 03-7.11], endémico del sudoeste peninsular, así como *Sedum maireanum* [LÁMINA 03-7.4], en régimen de protección especial [TABLA 03-2], que aparece en pastizales con una mayor capacidad de retención de agua.

Algunas zonas arenosas son ricas en carbonato cálcico debido a la acumulación de conchas de moluscos marinos, dándose suelos que contrastan con los suelos de arenas silíceas que dominan en todo el litoral. Estos son comunes en los corrales del tren de dunas del Espacio Natural de Doñana, donde afloran playas fósiles, pero sin duda los más llamativos son los que conforman La Cascajera, en el Paraje Natural de Marismas del Odiel. En esta isla rodeada de marismas aparecen elementos singulares como la ya mencionada jara de flores rosas *Cistus albidus*, la trepadora *Clematis cirrhosa* L. [LÁMINA 03-3-4] (Sánchez-Gullón & Rubio-García, 2002) o *Ceratocapnos heterocarpa* Durieu [LÁMINA 03-2.10], presente únicamente en este punto del Litoral y en el occidente del Andévalo (Sánchez-Gullón & Ortega-Expósito, 1997).

Cauces, lagunas y marismas de agua dulce

Los cauces de agua dulce en el litoral poseen un arbolado formado por fresnos -*Fraxinus angustifolia*- y, en el caso de aguas permanentes, aparecen álamos -*Populus alba*- y chopos -*P. nigra*-. Son escasos, debido a la permeabilidad de las arenas, sin embrago, sí son muy frecuentes las charcas y lagunas, tanto de aguas permanentes como temporales.

En las lagunas de aguas permanentes aparecen algunos elementos importantes de la flora onubense, como es el caso de los nenúfares, *Nuphar luteum* [LÁMINA 03-5.12] y *Nymphaea alba* [LÁMINA 03-6.1], ambas especies catalogadas como vulnerables en Andalucía [TABLA 03-1], encontrándose en la actualidad muy localizadas en la provincia en algunos humedales del Litoral. Otra especie

flotante de estas aguas es *Wolffia arrhiza* [LÁMINA 03-8.11], una especie de lenteja de agua que tiene el récord de ser la fanerógama más pequeña, y que por su rareza está catalogada como especie vulnerable en Andalucía [TABLA 03-1], la cual aparece también en lagunas y charcones de la comarca de Condado-Campiña.

En la Laguna del Hondón, en el Espacio Natural de Doñana, se localiza *Hydrocharis morsus- ranae* [LÁMINA 03-8.5], una planta acuática de hojas flotantes, catalogada en Andalucía como especie en peligro de extinción [TABLA 03-1], ya que, aunque es muy abundante en el norte de Europa, en la Península Ibérica sólo se conocen dos localidades, la onubense y otra en Lugo (García Murillo & al., 2004).

Gran parte de las marismas del Guadalquivir se llenan estacionalmente con agua dulce de los arroyos que vierten sus aguas en ellas, y dan lugar a una flora de especies junciformes vivaces entre las que podemos citar por su abundancia la castañuela -*Scirpus maritimus* L.-, cuyos rizomas, parecidos a las chufas, son de gran importancia en la alimentación de las anátidas que pasan el invierno en el Espacio Natural de Doñana. En los límites de la marisma con los cotos, nombre que se da a la vegetación sobre arenas estabilizadas, se desarrolla la Vera, en la que se localizan especies tan singulares como *Avellara fistulosa* [LÁMINA 03-2.4], catalogada como especie en peligro de extinción [TABLA 03-1]. Es un endemismo de Portugal y Huelva que habita en lagunas temporales que se sitúan en el margen de las marismas de agua dulce del Guadalquivir, donde está gravemente amenazada por el herbivorismo por parte del ganado y de ungulados silvestres (Ortiz-Herrera & al., 2004b). También en la Vera se localizan las poblaciones de *Micropyropsis tuberosa* [LÁMINA 03-8.6] (De Vega-Durán & al., 2004b), endémica de la provincia de Huelva y del noroeste de Marruecos, catalogada en Andalucía como especie vulnerable [TABLA 03-1], amenazada también por el herbivorismo de la zona, y *Lathyrus nudicaulis* [LÁMINA 03-5.2], endémica de la península Ibérica, que se localiza en zarzales de bordes de lagunas del entorno de la Marisma de Doñana, así como en sotos higroturbosos de la Dehesa del Estero Domingo Rubio, estando catalogada como especie vulnerable [TABLA 03-1].

Las lagunas temporales son también frecuentes en todo el Litoral. En éstas se forman praderas de especies higrófilas entre las que destaca, por su abundancia y cobertura, el vallico -*Agrostis stolonifera* L.- y la menta poleo -*Mentha pulegium* L.-, a la que acompañan diversas especies del género *Juncus*. En estos medios habita *Caropsis verticillato-inundata* [LÁMINA 03-2.8], que es una pequeña planta catalogada como vulnerable [TABLA 03-1], que se oculta entre los céspedes de *Agrostis stolonifera* que cubren depresiones del terreno inundadas temporalmente en las arenas estabilizadas del Espacio Natural de Doñana, siendo difícil de localizar, por lo que se la caracteriza como muy rara.

En zonas donde el tiempo de inundación es mayor pueden aparecer especies de helechos del género *Isoetes*, entre las que podríamos destacar *Isoetes setaceum* [LÁMINA 03-1.5], especie declarada en régimen de protección especial [TABLA 03-2] e *Isoetes velatum* A. Braun.

Turberas

Las turberas son hábitats caracterizados por la humedad permanente en el suelo, lo que determina una lenta descomposición de la materia orgánica, que queda almacenada en el suelo, convirtiéndolo en un sustrato ácido y pobre. En el litoral de Huelva estos hábitats son relativamente fre-

cuentes, sobre todo en la mitad occidental, formándose en zonas con surgencia de agua entre los distintos mantos eólicos, como ocurre en los acantilados de areniscas del Médano del Asperillo, y en los arroyos que mantienen humedad permanente en el suelo.

Las turberas presentan un matorral característico en el que aparece el brezo de turbera -*Erica ciliaris*- [LÁMINA 03-4.2], el tojo enano -*Ulex minor*- [LÁMINA 03-7.8] y la jara peluda -*Cistus psilosepalus* Sweet- [LÁMINA 03-3-3], y en ella aparecen algunas especies típicamente de distribución Atlántica que tienen en Huelva su límite meridional, y por tanto sus poblaciones poseen carácter finícola, como es el caso de la especie Atlántica *Carex trinervis* Degland [LÁMINA 03-8.2], citado en España únicamente en la provincia de Huelva en Ribetehilos y La Rocina (López-Albacete & al., 2007a).

Las turberas más importantes del Litoral onubense serían las de Ribetehilos, las del arroyo de Las Madres y las del arroyo de La Rocina. Las primeras son unas turberas que desde mediados del siglo XX han permanecido secuestradas bajo plantaciones de eucaliptos hasta que fueron erradicados entre 1995 y 2000 (Manzano & al., 2009), por lo que se encuentran en etapa de recuperación. Constituyen una de las joyas florísticas de la provincia de Huelva y, además de las especies mencionadas en el párrafo anterior, en Ribetehilos podemos encontrar un gran número de elementos singulares amenazados o propuestos para ello por su rareza, como serían los casos de *Genista ancistrocarpa* Spach [LÁMINA 03-4.6], endémico de las turberas del oeste peninsular y del NO de Marruecos, propuesto como especie en peligro de extinción por Cabezudo & al. (2005); de *Viola lactea*, catalogada como especie vulnerable [TABLA 03-1]; de *Gentiana pneumonanthe* L. [LÁMINA 03-4.10], propuestas como especies en peligro crítico de extinción por Cabezudo & al. (2005); de *Cheirolophus uliginosus* (Brot.) Dostál [LÁMINA 03-2.11], especie del sudeste de la Península Ibérica, propuesta por Cabezudo & al. (2005) como especie en peligro de extinción; de *Scilla odorata*, taxón del sudoeste de la Península que en España aparece en Huelva y Cádiz y que está catalogada como especie vulnerable en Andalucía [TABLA 03-1]; o de *Rhynchospora modesti-lucennoi*, un endemismo de Portugal, Cádiz y Huelva y del noroeste de África catalogado como especie en peligro de extinción [TABLA 03-1], del que en Huelva sólo existen tres poblaciones, una en Villanueva de los Castillejos, en el Andévalo, otra en las turberas de Ribetehilos (López-Albacete & al., 2007a) y la tercera en la Laguna de Palos y Las Madres, en Palos de la Frontera (Sánchez-Gullón & Rubio-García, 2002).

En las turberas más desarrolladas asociadas al arroyo de La Rocina, en el Espacio Natural de Doñana, aparece un bosque en galería formado por *Salix atrocinerea* y por el sanguino - *Frangula alnus* subsp. *baetica*- [LÁMINA 03-4.5], especie del sur de España que también aparece en los cauces de agua permanente de las comarcas del Andévalo y de la Sierra de Aracena, y que está catalogada como en régimen de protección especial [TABLA 03-2].

Bajo el dosel de estas saucedas aparecen algunos helechos de gran interés florístico como son el helecho real -*Osmunda regalis* L.- [LÁMINA 03-1.8] y *Thelypteris palustris* Schott. En estos enclaves aparece también *Rorippa valdes-bermejoi* [LÁMINA 03-7.2], un berro del que sólo se conoce una localidad y cuyos ejemplares fueron descubiertos en 1986 y no han vuelto a localizarse hasta 2002, llevándose a cabo en la actualidad actuaciones para la reintroducción de ejemplares. Se localiza en los suelos turbosos del arroyo de la Rocina, en el Espacio Natural de Doñana (De Vega-Durán & al., 2004c). Está catalogada como especie en peligro de extinción [TABLA 03-1].

La Laguna de Las Madres actual fue antaño una extensa turbera que, como consecuencia de la extracción de turba que tuvo lugar entre 1960 y los años noventa, ha desaparecido en su mayor parte convirtiéndose en la actual laguna (Fernández-Zamudio & al., 2007), quedando como testigo de su paisaje original una de las pocas poblaciones aún existentes de *Nymphaea alba* [LÁMINA 03-6.1] de la provincia. Aunque muchas especies de interés de las que se tiene constancia que la habitaron han desaparecido (Sánchez-Gullón & Weickert, 2002), aún pueden localizarse especies singulares de flora. Es el caso de las especies protegidas ya comentadas en las turberas de Ribetehilos: *Rhynchospora modesti-lucennoi*, que presenta en Las Madres la mayor población localizada (Ortiz-Herrera & al., 2004a) y *Scilla odorata* (Sánchez-Gullón, 1999). En los suelos turbosos que rodean la Laguna de las Madres aparece otro taxón amenazado, *Peucedanum lancifolium*, considerada como vulnerable en Andalucía [TABLA 03-1], que se localiza únicamente en esta zona del litoral onubense (García Martín & Silvestre, 1983).

Los medios turbosos son pobres en nutrientes, y por ello los vegetales han diversificado su forma de captar nutrientes, lo cual explica que en estos hábitats podamos encontrar las únicas plantas carnívoras de la provincia de Huelva, como es el caso de *Pinguicula lusitanica* L. [LÁMINA 03-6.7], ligada a turberas y al monte negro, que posee hojas formando una roseta basal cubiertas de glándulas donde se adhieren y digieren los insectos que atrapa. También en las orillas de las lagunas de aguas oligotrofas sobre sustrato turboso y charcas de aguas permanentes, en zonas de poca profundidad, se ha citado en Huelva *Utricularia australis* [LÁMINA 03-7.9], una especie acuática de planta carnívora que atrapa invertebrados gracias a las vesículas que presenta en sus tallos. Es de distribución eurosiberiana, pero en Andalucía sus poblaciones están desapareciendo, por lo que ha sido considerada como extinta en esta comarca (Cabezudo & al., 2005), aunque en el Catálogo de Especies Amenazadas de Andalucía aparece como en peligro de extinción [TABLA 03-1]. Un caso similar es el de *Utricularia gibba* [LÁMINA 03-7.10], pero en este caso la catalogación es de vulnerable [TABLA 03-1]. Valdés & al. (2010) sitúan ambas especies en distintos puntos del litoral oriental onubense, estando *U. gibba* además citada en el Condado. Entre las amenazas que recaen sobre estas especies está la proliferación del cangrejo rojo americano, ya que devora sus tallos (Blanca & al., 2000) y los lixiviados de los cultivos intensivos agrícolas.

Aguas salobres, marismas mareales y fondos marinos

Cuando por razones de estiaje acusado o por aporte de agua marina aparecen zonas salobres, como ocurre en algunas lagunas costeras, la vegetación leñosa suele estar representada por un bosquete de distintas especies de tarajes -*Tamarix spp.*-, habiendo sido reconocidas cuatro especies en la zona: *T. africana*, *T. canariensis* Willd. y *T. gallica* L. Como ejemplos de estos tarayales podrían mencionarse el Estero de Domingo Rubio o la Laguna del Taraje, en el Espacio Natural de Doñana.

En las marismas mareales es directamente el agua marina la que inunda periódicamente los terrenos continentales a través de caños y canales. Estas marismas son muy frecuentes en el litoral de Huelva y aparecen en las desembocaduras de todos sus ríos: Guadalquivir, Tinto, Odiel, Piedras, Carreras y Guadiana. En estas zonas cambia drásticamente la flora y aparecen especies adaptadas al estrés causado por la elevada salinidad, entre las cuales predominan, tanto florísticamente

como estructuralmente, las especies de *Chenopodiaceae*. *Atriplex halimus* L., el salado, es un arbusto de hojas blanquecinas por la excreción de sal, que típicamente coloniza los suelos salinos colmatados de las marismas, aunque puede aparecer en zonas del interior. La verdolaga marina -*Halimione portulacoides* (L.) Aellen-, posee hojas similares pero es de menor tamaño y está presente en casi todos los niveles de inundación. La barrilla -*Salsola vermiculata* L.- y el almajo dulce -*Suaeda vera* Forssk. ex J.F. Gmel.-, con sus hojas carnosas, ocupan las posiciones más elevadas del alcance de las mareas. Dentro de esta familia, la tribu *Salicornieae* incluye plantas en las que las hojas carnosas se sueldan formando anillos que rodean al tallo, lo que les confiere un aspecto vermiculado, recordando a los segmentos de un gusano. Esta tribu está representada en las marismas onubenses por el almajo -*Arthrocnemum macrostachyum* (Moric.) Moris- y *Sarcocornia alpini* Lag. [LÁMINA 03-7.3], en zonas elevadas de la marisma; el almajo salado -*Sarcocornia fruticosa* (L.) A.J. Scott- y la sosa de las salinas -*S. perennis* (Mill.) A.J. Scott-, en zonas bajas con mayor inundación; y la hierba salada -*Salicornia ramosissima* J. Woods-, especie anual colonizadora de espacios abiertos no ocupados por el matorral. Por último, *Halopeplis amplexicaulis* (Vahl) Bunge ex Ung.-Sternb. [LÁMINA 03-4.12], es una rara quenopodiácea de saladares mediterráneos que se localiza en el Paraje Natural Marismas del Odiel y en las Marismas del Guadalquivir (Sánchez-Gullón & Rubio-García, 1999).

La familia *Plumbaginaceae* también tiene una gran importancia en la estructura de las marismas mareales onubenses, destacando por su vistosidad *Limoniastrum monopetalum* (L.) Boiss. [LÁMINA 03-5.6], arbusto de zonas elevadas cuya floración rosada o violácea es muy llamativa en este entorno. De menor tamaño, pero de gran interés florístico, son las especies del género *Limonium spp.*, entre las que cabría mencionar *L. ovalifolium*, en régimen de protección especial [TABLA 03-2]. También son frecuentes las especies de gramíneas, entre las que cabría destacar *Spartina maritima* (Curtis) Fernald y las especies del género *Puccinellia spp.*, debiendo mencionarse por su abundancia la presencia de *Spartina densiflora* como especie invasora proveniente de Sudamérica que actualmente cubre gran parte de nuestras marismas.

Entre los elementos de interés que podrían destacarse en la flora de las marismas mareales está *Cynomorium coccineum* [LÁMINA 03-3.10]. Se trata de una planta parásita carente de clorofila que vive parasitando arbustos de la familia *Chenopodiaceae*, que se hace visible a través de sus inflorescencias en forma de maza de color pardo. En Andalucía se ha localizado en unas pocas localidades y, en el caso de Huelva, se localiza en el Paraje Natural Marismas del Odiel, aunque se ha citado también en las marismas que rodean Ayamonte (Sánchez-Gullón & Rubio-García, 1999). Otra planta parásita muy vistosa, por sus flores amarillas, que es común en las marismas mareales onubenses es el jopo amarillo -*Cistanche phelypaea* (L.) Cout.- [LÁMINA 03-2.12]. Cabe destacar también la presencia en las marismas onubenses de *Aster tripolium* subsp. *pannonicus* (Jacq.) Soó [LÁMINA 03-2.3], taxon típicamente Atlántico que en el sur de España presenta sus poblaciones finícolas, llegando hasta las marismas gaditanas.

En las zonas sumergidas de las marismas aparecen otras especies fanerógamas de gran valor, como es el caso de *Althenia orientalis* [LÁMINA 03-7.12], especie catalogada como vulnerable en Andalucía [TABLA 03-1]. Se localiza en las marismas del Guadalquivir en el Espacio Natural de Doñana, en las Salinas de San Isidro, habitando cubetas salinas temporales de fondo limoso y someras, hipersalinas

al secarse (García-Murillo, 2000). También debe mencionarse la seba de mar -*Zostera noltii*- [LÁMINA 03-8.12], especie en régimen de protección especial [TABLA 03-2] que forma céspedes que tapizan los fondos de rías y caños y que quedan al descubierto en las bajamares de mayor coeficiente.

En las aguas del litoral onubense aparece otra especie de fanerógama de aguas poco profundas, *Cymodocea nodosa*, catalogada en régimen de protección especial en Andalucía (Tabla C2). Esta especie ha sido localizada en la ría del río Piedras.

El acceso humano a las marismas ha condicionado la construcción de infraestructuras como caminos, carreteras o diques que, dada la inestabilidad de su sustrato, han obligado a incorporar materiales alóctonos, lo que ha conllevado la entrada de especies de flora características de otras zonas. Este es el caso de las marismas onubenses, donde por ejemplo en la carretera que atraviesa el Paraje Natural de Marismas del Odiel podemos observar gran parte de la flora arbustiva del Andévalo, e incluso en el dique Juan Carlos I, donde los bloques de pizarra utilizados para su construcción han recreado el hábitat de los acantilados rocosos, que no están presentes en Huelva, facilitando que el hinojo marino -*Crithmum maritimum* L.- [LÁMINA 03-3-8] forme poblaciones estables en la provincia (Sánchez-Gullón & Rubio-García, 1999).

[4] Bibliografía

Aedo, C. (2013). *Narcissus* L. En: Rico, E. *et al.* (eds.) *Flora Ibérica vol. XX.* 340-397. CSIC. Madrid.

Bañares, Á.; Blanca, G.; Güemes, J.; Moreno, J.C.; Ortiz, S. (eds.). (2010). *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España. Adenda 2010*. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal-Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas. Madrid.

Blanca, G.; Cabezudo, B.; Hernández-Bermejo, J.E.; Herrera, C.M.; Molero Mesa, J.; Muñoz, J.; Valdés, B. (1999). *Libro rojo de la flora silvestre amenazada de Andalucía. I. Especies en peligro de extinción*. Junta de Andalucía. Sevilla.

Blanca, G.; Cabezudo, B.; Hernández-Bermejo, J.E.; Herrera, C.M.; Molero Mesa, J.; Muñoz, J.; Valdés, B. (2000). *Libro rojo de la flora silvestre amenazada de Andalucía. II. Especies vulnerables*. Junta de Andalucía. Sevilla.

Cabezudo, B.; Talavera, S.; Blanca, G.; Salazar, C.; Cueto, M.; Valdés, B.; Hernández-Bermejo, J.E.; Herrera, C.M.; Rodríguez Hiraldo C.; Navas D. (2005). *Lista Roja de la Flora Vascular de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla.

Casimiro-Soriguer, R.; Talavera, M.; Balao, F.; Velasco, R.; Sánchez-Gullón, E.; Pérez, I.; Talavera, S. (2010). *Campanula primulifolia* Brot. En: Bañares, Á. *et al.* (eds.) *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España. Adenda 2010*. 32-33. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal-Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas. Madrid.

Cowling, R.M.; Rundel, P.W.; Lamont, B.B.; Arroyo, M.K.; Arianoutsou, M. (1996). Plant diversity in mediterranean-climate regions. *Tree* 11, 262-266.

CSIC-IARA (1989). *Mapa de Suelos de Andalucía*. Junta de Andalucía.

De Las Heras-Pérez, M.A. (2007). *Estudio de flora y vegetación del oeste del Entorno de Doñana*. Tesis Doctoral. Universidad de Huelva. Huelva.

- De Vega-Durán, C.; Berjano Pérez, R.; Ortiz-Herrera, M.A.; García-Castaño, J.L.; Terrab, A.; Talavera Lozano, S. (2004a). *Adenocarpus gibbsianus* Castrov. & Talavera. En: Bañares, Á. *et al.* (eds.) *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España*. 80-81. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- De Vega-Durán, C.; Berjano Pérez, R.; Ortiz-Herrera, M.A.; Talavera Lozano, S.; (2004b). *Micropyropsis tuberosa* Romero Zarco & Cabezudo. En: Bañares, Á. *et al.* (eds.) *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España*. 786-787. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- De Vega-Durán, C.; Ortiz-Herrera, M.A.; Berjano Pérez, R.; Cobo, D.; Talavera Lozano, S.; (2004c). *Rorippa valdes-bermejoi* (Castrov.) Mart. Laborde & Castrov. En: Bañares, Á. *et al.* (eds.) *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España*. 464-465. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- De Vega-Durán, C.; Ortiz-Herrera, M.A.; Sánchez Gullón, E.; Talavera Lozano, S. (2004d). *Picris willkommii* (Sch. Bip.) Nyman. En: Bañares, Á. *et al.* (eds.) *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España*. 806-807. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- Decreto 23/2012, de 14 de febrero, por el que se regula la conservación y el uso sostenible de la flora y la fauna silvestres y sus hábitats. BOJA 60: 114-163, de 27 de marzo 2012.
- Delgado-Vázquez, A.J.; Plaza-Arregui, L. (2010). *Helechos amenazados de Andalucía: avances en conservación*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. DOUE nº 206: 7-50, 22 de julio 1992.
- Domínguez, E. (1988). *La sectorización de Andalucía Occidental: Bases para el establecimiento de sus unidades Biogeográficas*. Lagascalia 15(Extra), 75-89.
- Fernández-Zamudio, R.; Sousa, A.; García-Murillo, P. (2007). *Laguna de Las Madres (Huelva). Flora y Vegetación*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla.
- García Martín, F.; Silvestre, S. (1983). *Peucedanum lancifolium* Lange. Lagascalia, 11(1), 109- 110.
- García Murillo, P.; Cirujano, S.; Medina L. (2004). *Hydrocharis morsus-ranae* L. En: Bañares, Á. *et al.* (eds.) *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España*. 312-313. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- García-Murillo, P. (2000). *Althenia orientalis* (Tzvelev) García Murillo & Talavera, En: Blanca, G. *et al.* (eds.) *Libro rojo de la flora silvestre amenazada de Andalucía. II. Especies vulnerables*. 31-34. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Garrido, J.; Olivares, C.; Muñoz, J.M.; Domínguez, E. (2000). *Silene mariana* Pau, En: Blanca, G. *et al.* (eds.) *Libro rojo de la flora silvestre amenazada de Andalucía. II. Especies vulnerables*. 334-336. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Hernández-Bermejo, J.E.; Clemente-Muñoz, M.; Rodríguez-Hiraldo, C. (1999). Estrategias de conservación de la flora amenazada. *Medioambiente* 30, 52-59. Instituto Geológico y Minero de España, 1970. Mapa Geológico 1:200.000. Hojas 67-68, 74, 75 y 80-81.
- López-Albacete, I.; De Las Heras, M.A.; Sánchez Gullón, E.; Hidalgo, P.J.; Muñoz Rodríguez, A.F. (2007a). *Aportaciones florísticas para Doñana*. Lagascalia 27, 390-402.
- López-Albacete, I.; De Las Heras, M.A.; Sánchez Gullón, E.; Weickert, P.; Hidalgo, P.J.; Muñoz Rodríguez, A.F. (2007b). *Nuevas localidades de especies interesantes en Doñana y la Costa de Huelva (SW España).* Acta Botánica Malacitana 32, 258-261.
- López-Tirado, J.; Núñez-Álvarez, A.; Carmona-Ruiz, M.I.; Hidalgo-Fernández, P.J. (2016). *Sobre la presencia de Narcissus scaberulus Henriq. (Amaryllidaceae) en Andalucía occidental (España)*. Flora Montiberica 63, 101-102.

- Luceño, M.; Jiménez Mejías, P.; Escudero, M.; Sánchez-Gullón, E.; Weickert, P. (2007). *Nuevas citas de dos ciperáceas raras en Andalucía*. Acta Botánica Malacitana 32, 311-312.
- Manzano, M.; Custodio, E.; Higueras, H.; Puig, R.; Soler, A. (2009). *Influencia de la gestión del acuífero sobre los humedales del manto eólico de Doñana*. Boletín Geológico y Minero, 120(3), 377-392.
- Márquez-García, B.; Muñoz-Rodríguez, A.F.; Córdoba, F. (2009). *Germination requirements of Erica andevalensis, an endemic species restricted to acid and metal/metalloid-enriched soils of the iberian pyrite belt (SW Iberian Peninsula).* Fresenius Environmental Bulletin 18(12), 2259- 2267.
- Mittermeier, R.A.; Robles Gil, P.; Hoffman, M.; Pilgrim, J.; Brooks, T.; Mittermeier, C.G.; Lamoreux, J.; da Fonseca, G.A.B. (2005). *Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. University Press. Chicago.
- Moreno-Saiz, J.C. (2011). *La diversidad florística vascular española*. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia Natural, 2ª ép., 9, 75-107.
- Muñoz-Rodríguez, A.F.; Santa-Bárbara, C.; Vicent, C. (2008). *Comunidades arbustivas seriales en el Andévalo y Sierra de Aracena (Huelva; SO España).* Lagascalia 28, 21-71.
- Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; da Fonseca, G.A.B.; Kent, J. (2000*). Biodiversity hotspots for conservation priorities*. Nature 403, 853-858.
- Ortega-Olivencia, A. (2014). *Onopordum* L. En: Devesa, J.A. *et al.* (eds.) *Flora Ibérica vol. XVI(1).* 67-84. CSIC. Madrid.
- Ortiz-Herrera, M.A.; De Vega-Durán, C.; Berjano Pérez, R.; Sánchez Gullón, E.; Talavera, S. (2004a). *Rhynchospora modesti-lucennoi* Castrov. En: Bañares, Á. *et al.* (eds.) *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España*. 462-463. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- Ortiz-Herrera, M.A.; De Vega-Durán, C.; Talavera, S. (2004b). *Avellara fistulosa* (Brot.) Blanca & C. Díaz. En: Bañares, Á. *et al.* (eds.) *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España*. 142-143. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- Ortiz-Herrera, M.A.; De Vega-Durán, Talavera, S. (2004c). *Linaria lamarckii* Rouy. En: Bañares, Á. *et al*. (eds.) *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España*. 386-387. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid.
- Rivas-Martínez, S. *et al.* (2007). *Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España*. Itinera Geobotanica 17, 5-436.
- Rivas-Martínez, S.; Rivas-Sáenz, S. (1996-2018). *Worldwide Bioclimatic Classification System.* Phytosociological Research Center, Spain. http://www.globalbioclimatics.org
- Sánchez-Gullón, E. (1999). *Novedades corológicas para la provincia de Huelva.* Acta Botánica Malacitana 24, 242-247.
- Sánchez-Gullón, E.; Castro-Prigent, P.; Jiménez-Nieva, F.J.; Heras-Pérez, M.A.; Muñoz- Rodríguez, A.F. (2013). *Novedades florísticas para el litoral de Huelva y provincia. VI*. Lagascalia 33, 336-343.
- Sánchez-Gullón, E.; Cejuela, A. (2011). *Coincya longirostra en Sierra Morena Occidental de Huelva (Andalucía, España)*. Conservación Vegetal 15, 13.
- Sánchez-Gullón, E.; Macías, F.J.; Weickert, P.; Valdés, B. (2005). *Aportación a la flora y vegetación de la Cuenca Baja del río Guadiana en el Andévalo Occidental (España).* Lagascalia 25, 252-257.
- Sánchez-Gullón, E.; Ortega-Expósito, J.A. (1997). *Fragmenta Chorologica Occidentalia, 6230- 6235.* Anales del Jardín Botánico de Madrid 55(2), 451.

- Sánchez-Gullón, E.; Rubio-García, J.C. (1999). *Novedades florísticas para el litoral de Huelva y provincia*. Lagascalia 21(1), 7-16.
- Sánchez-Gullón, E.; Rubio-García, J.C. (2002). *Novedades florísticas para el litoral de Huelva y provincia. II*. Lagascalia 22, 7-19.
- Sánchez-Gullón, E.; Sánchez-García, I. (2002). Ononis azcaratei Devesa especie andaluza en peligro crítico. Acta Botánica Malacitana 27, 331-332.
- Sánchez-Gullón, E.; Weickert, P. (2002). *Plantas del herbario de D. Bruno Weickert herborizadas en la provincia de Huelva entre los años 1950/1974*. Lagascalia 22, 172-179.
- Sánchez-Gullón, E.; Weickert, P. (2006). *Euphorbia transtagana Boiss. (Euphorbiaceae) endemismo iberotingitano en España*. Acta Botánica Malacitana 31, 181-182.
- Valdés, B.; Díaz-Lifante, Z.; Parra, R. (1999a). *Linaria tursica* Valdés & Cabezudo, En: Blanca, G. *et al.* (eds.) *Libro rojo de la flora silvestre amenazada de Andalucía. I. Especies en peligro de extinción*. 175-178. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Valdés, B.; Díaz-Lifante, Z.; Parra, R. (1999b). *Thymus albicans* Hoffmanns. & Link, En: Blanca, G. *et al.* (eds.) *Libro rojo de la flora silvestre amenazada de Andalucía. I. Especies en peligro de extinción*. 286-289. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Valdés, B.; Girón, V.; Sánchez-Gullón, E.; Carmona, I. (2007). *Catálogo florístico del Espacio Natural de Doñana (SO de España). Plantas Vasculares*. Lagascalia 27, 73-362.
- Valdés, B.; Girón, V.; Sánchez-Gullón, E.; Carmona, I. (2010). *Guía de las especies de interés de la flora de Doñana y su Comarca.* Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla.
- Valdés, B.; Santa-Bárbara, C.; Vicent, C.; Muñoz-Rodríguez, A.F. (2008). *Catálogo florístico del Andévalo y Sierra de Huelva (plantas vasculares).* Lagascalia 28, 117-409.
- Valdés, B.; Talavera, S.; Fernández-Galiano, E. (eds.). (1987). *Flora vascular de Andalucía Occidental*, 3 Volúmenes. Ketres Editora S.A. Barcelona.
- Vivero, J.L.; Hernández-Bermejo, E.; Prados, J. (2000a). *Prunus avium* L., En: Blanca, G. *et al.* (eds.) *Libro rojo de la flora silvestre amenazada de Andalucía. II. Especies vulnerables*. 278-281. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Vivero, J.L.; Hernández-Bermejo, E.; Prados, J. (2000b). *Prunus insititia* L., En: Blanca, G. *et al.* (eds.) *Libro rojo de la flora silvestre amenazada de Andalucía. II. Especies vulnerables*. 282-284. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Zoido-Naranjo, F. (dir.). (2014). *Bases para la realización del Sistema Compartido de Información sobre el Paisaje de Andalucía.* Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía. Sevilla.

LÁMINA
03-1

Helechos: 1) *Asplenium billotii*, 2) *Athyrium filix-femina*, 3) *Blechnum spicant*, 4) *Isoetes durieui*, 5) *Isoetes setaceum*, 6) *Marsilea batardae*, 7) *Marsilea strigosa*, 8) *Osmunda regalis*, 9) *Pilularia minuta*, 10) *Polystichum setiferum*. **Gimnospermas:** 11) *Juniperus oxycedrus subsp. macrocarpa*, 12) *Juniperus phoenicea subsp. turbinata*.

FOTOGRAFÍAS: E. Sánchez-Gullón (1, 5, 7 y 9). A. F. Muñoz-Rodríguez (2, 3, 4, 6, 8, 10, 11 y 12).

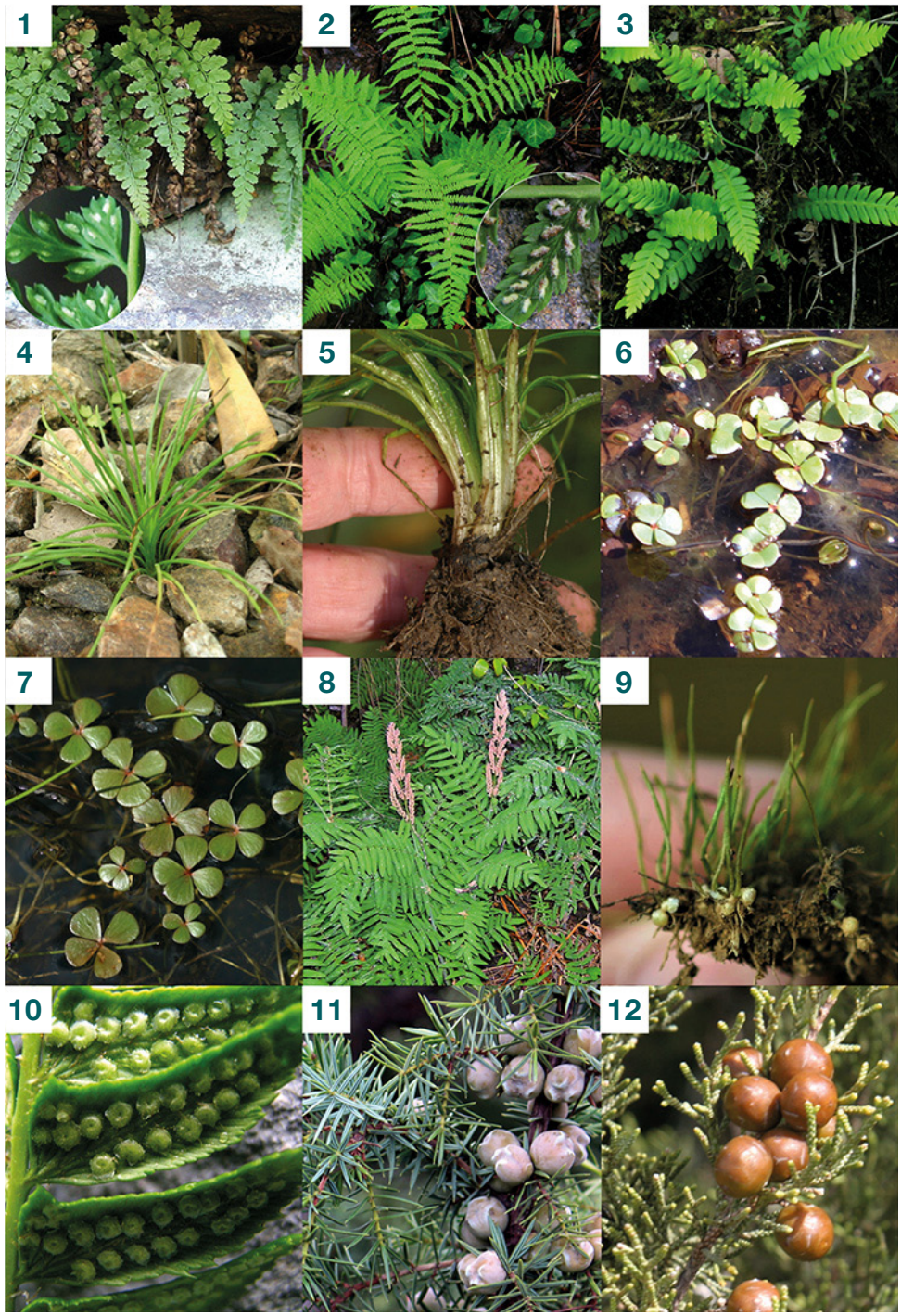


LÁMINA
03-2

Dicotiledóneas: *1) Adenocarpus gibbsianus, 2) Armeria velutina, 3) Aster tripolium subsp. pannonicus, 4) Avellara fistulosa, 5) Bupleurum fruticosum, 6) Calystegia soldanella, 7) Campanula alata, 8) Caropsis verticillato-inundata, 9) Celtis australis, 10) Ceratocapnos heterocarpa, 11) Cheirolophus uliginosus, 12) Cistanche phelipaea.*

FOTOGRAFÍAS: E. Sánchez-Gullón (1, 3 y 7). A.F. Muñoz-Rodríguez (1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 y 12).

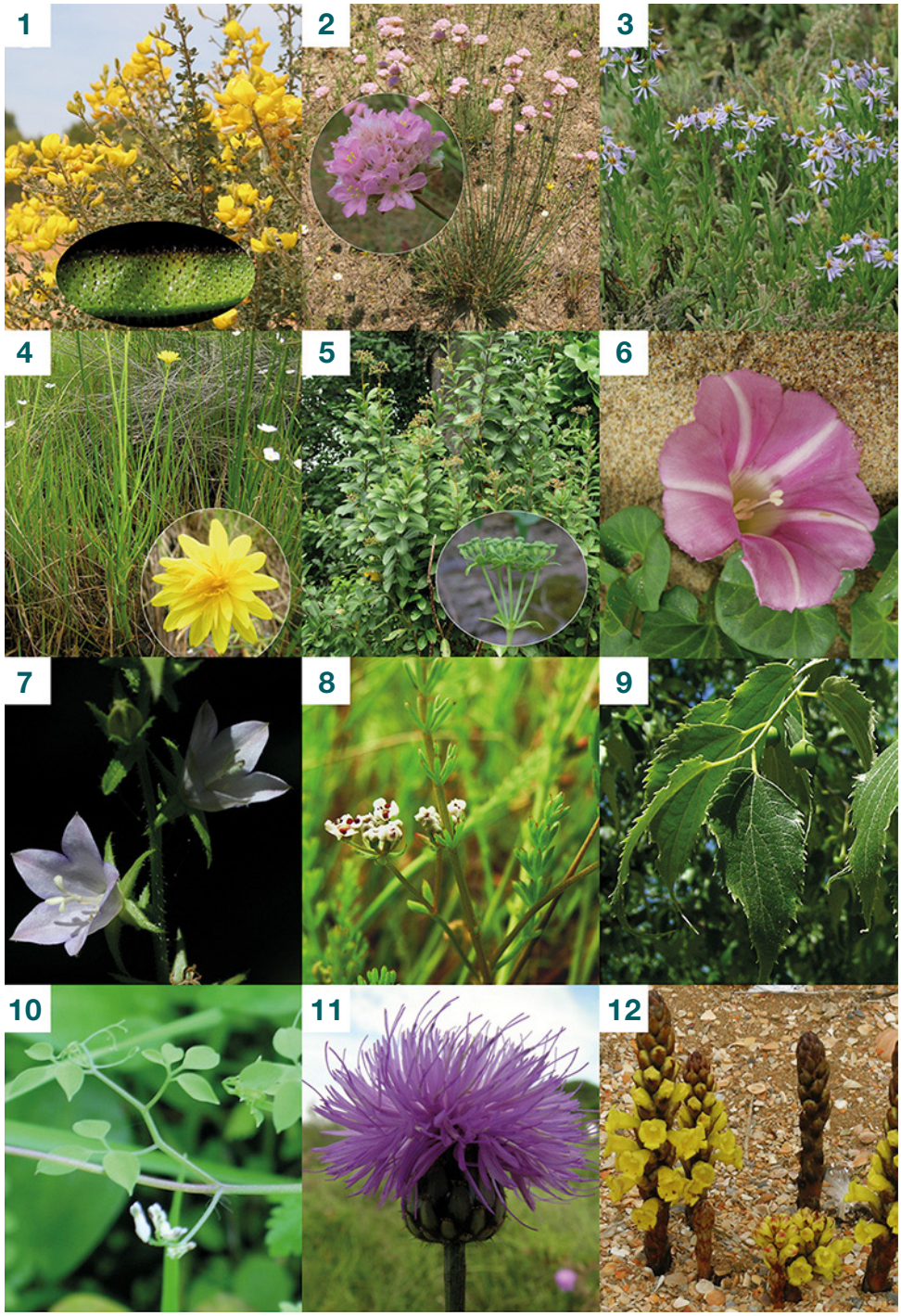


LÁMINA
03-3

Dicotiledóneas (cont.): *1) Cistus albidus, 2) Cistus libanotis, 3) Cistus psilosepalus, 4) Clematis cirrhosa, 5) Colutea hispanica, 6) Corema album, 7) Coronilla glauca, 8) Crithmum maritimum, 9) Cynara algarbiensis, 10) Cynomorium coccineum subsp. coccineum, 11) Daveaua anthemoides, 12) Dianthus hinoxianus.*

FOTOGRAFÍAS: E. Sánchez- Gullón (4, 5, 8, 9, 10 y 11). A.F. Muñoz-Rodríguez (1, 2, 3, 6, 7 y 12).

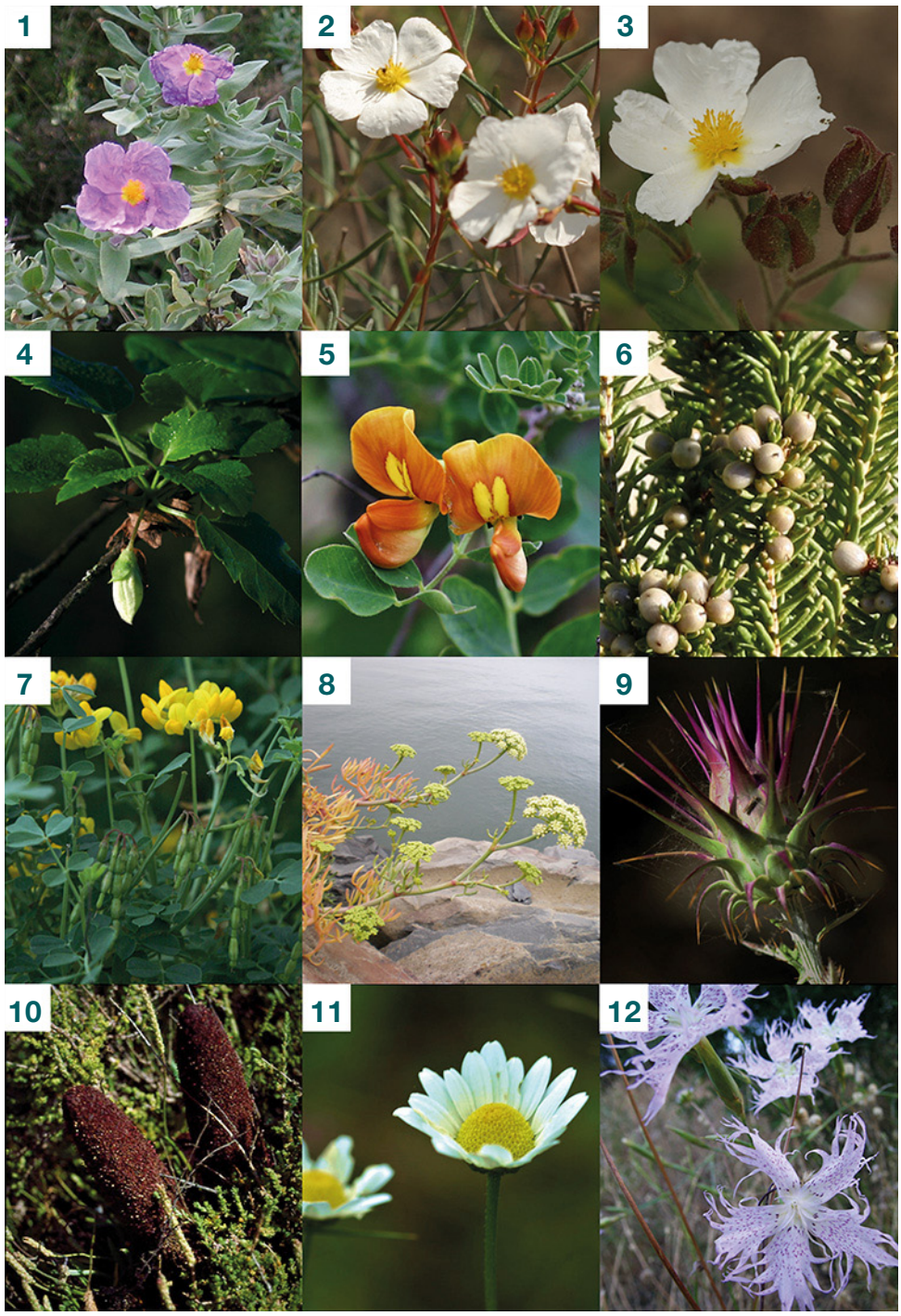


LÁMINA
03-4

Dicotiledóneas (cont.): *1) Erica andevalensis, 2) Erica ciliaris, 3) Erodium mouretii, 4) Flueggea tinctoria, 5) Frangula alnus subsp. baetica, 6) Genista ancistrocarpa, 7) Genista falcata, 8) Genista polyanthos, 9) Genista tridentata, 10) Gentiana pneumonanthe, 11) Halimium ocymoides, 12) Halopeplis amplexicaulis.*

FOTOGRAFÍAS: E. Sánchez- Gullón (3, 7 y 12). A.F. Muñoz-Rodríguez (1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10 y 11).

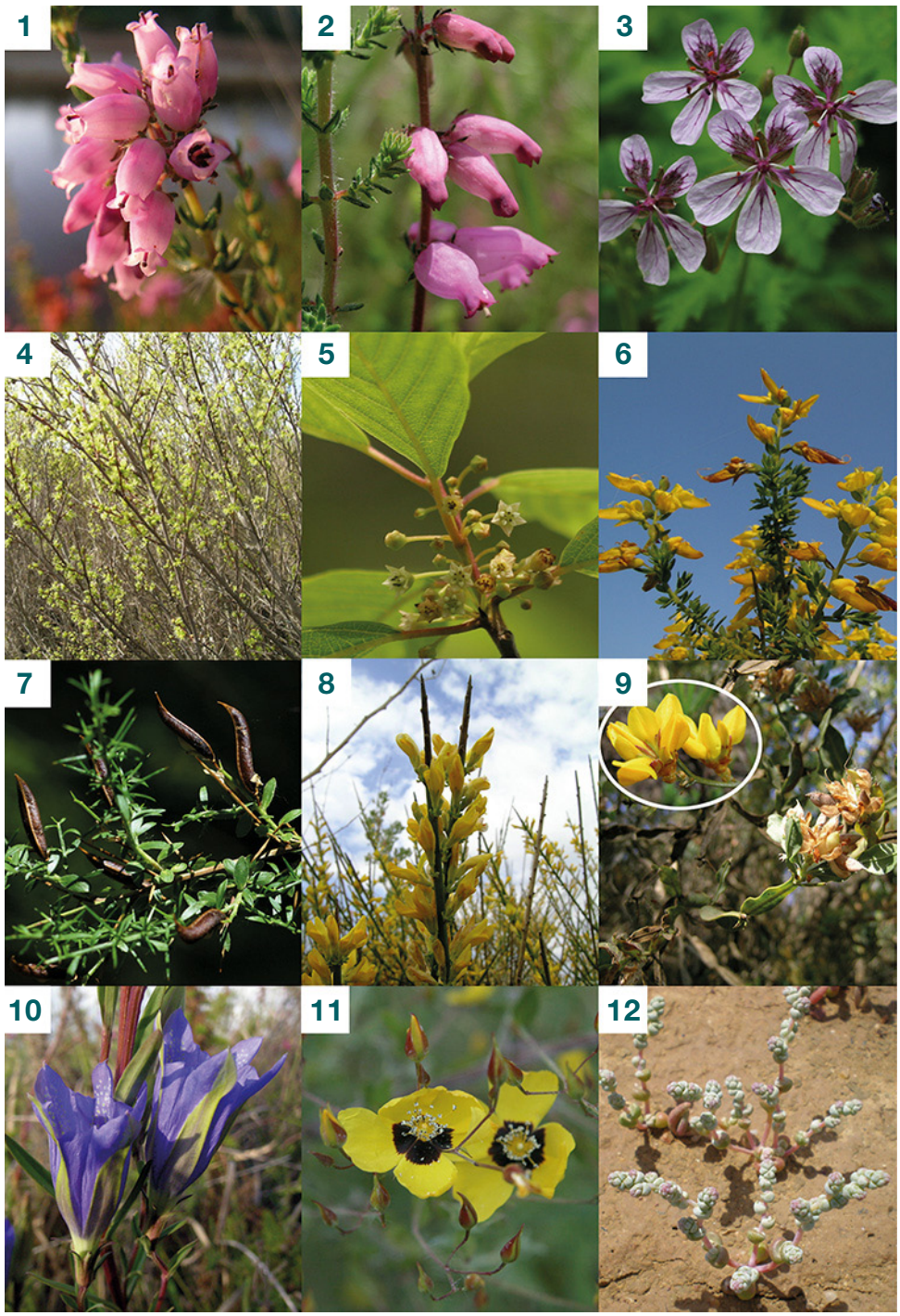


LÁMINA
03-5

Dicotiledóneas (cont.): *1) Kundmannia sicula, 2) Lathyrus nudicaulis, 3) Lavandula multifida, 4) Lavandula stoechas subsp. luisieri, 5) Lavandula viridis, 6) Limoniastrum monopetalus, 7) Linaria lamarckii, 8) L. latifolia, 9) L. pedunculata, 10) Loeflingia baetica, 11) Lythrum baeticum, 12) Nuphar luteum subsp. luteum.*

FOTOGRAFÍAS: E. Sánchez-Gullón (2, 3, 4, 10, 11 y 12). A.F. Muñoz-Rodríguez (1, 5, 6, 7, 8 y 9).

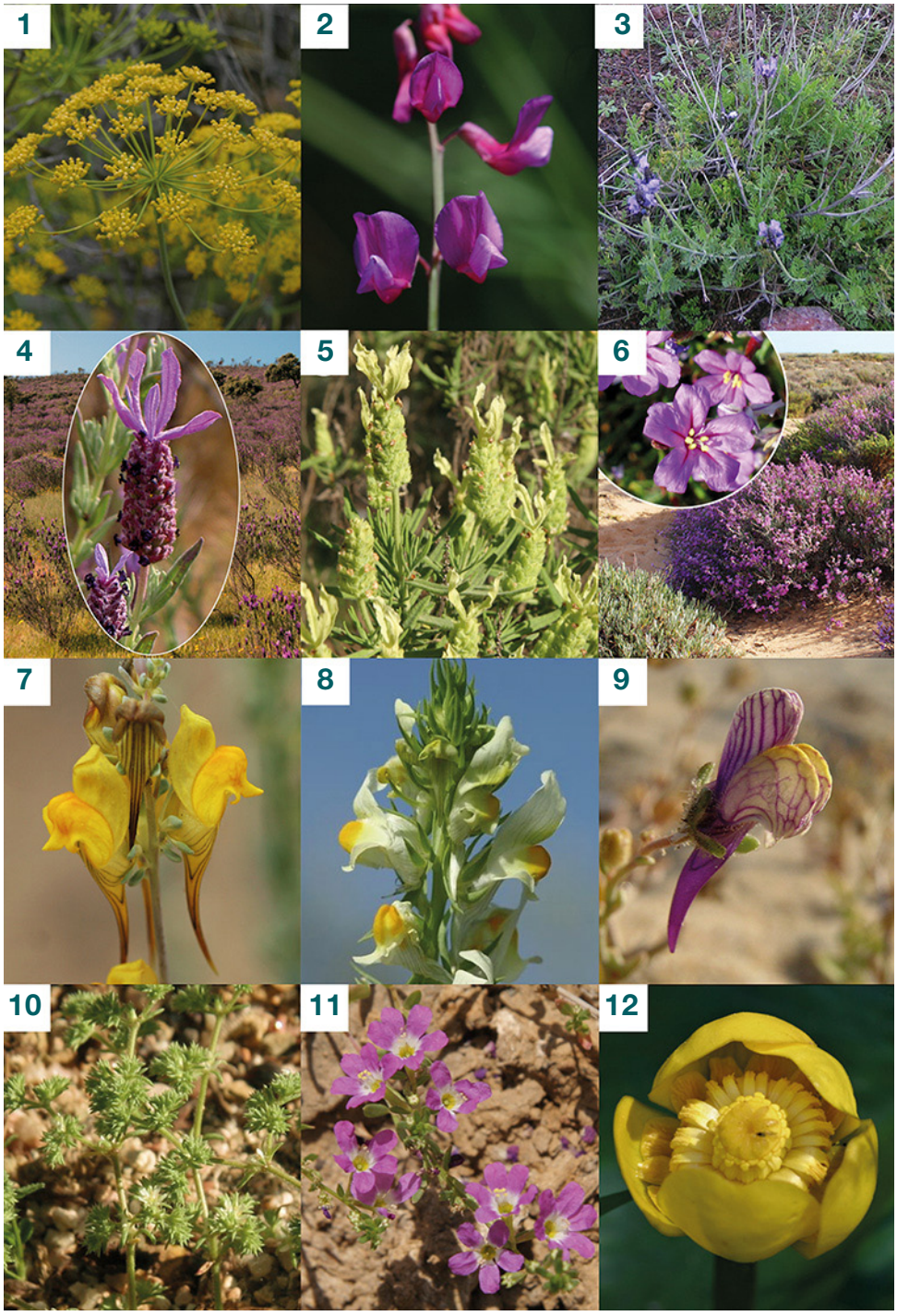


LÁMINA
03-6

Dicotiledóneas (cont.): 1) *Nymphaea alba*, 2) *Ononis azcaratei*, 3) *Onopordum hinojense*, 4) *Osyris lanceolata*, 5) *Paeonia broteroi*, 6) *Picris willkommii*, 7) *Pinguicula lusitanica*, 8) *Pistacia terebinthus*, 9) *Plantago algarbiensis*, 10) *Prunus avium*, 11) *Prunus insititia*, 12) *Pycnocomon rutifolium.*

FOTOGRAFÍAS: E. Sánchez-Gullón (1, 2, 9, 10 y 11). A.F. Muñoz-Rodríguez (3, 4, 5, 6, 7, 8 y 12).

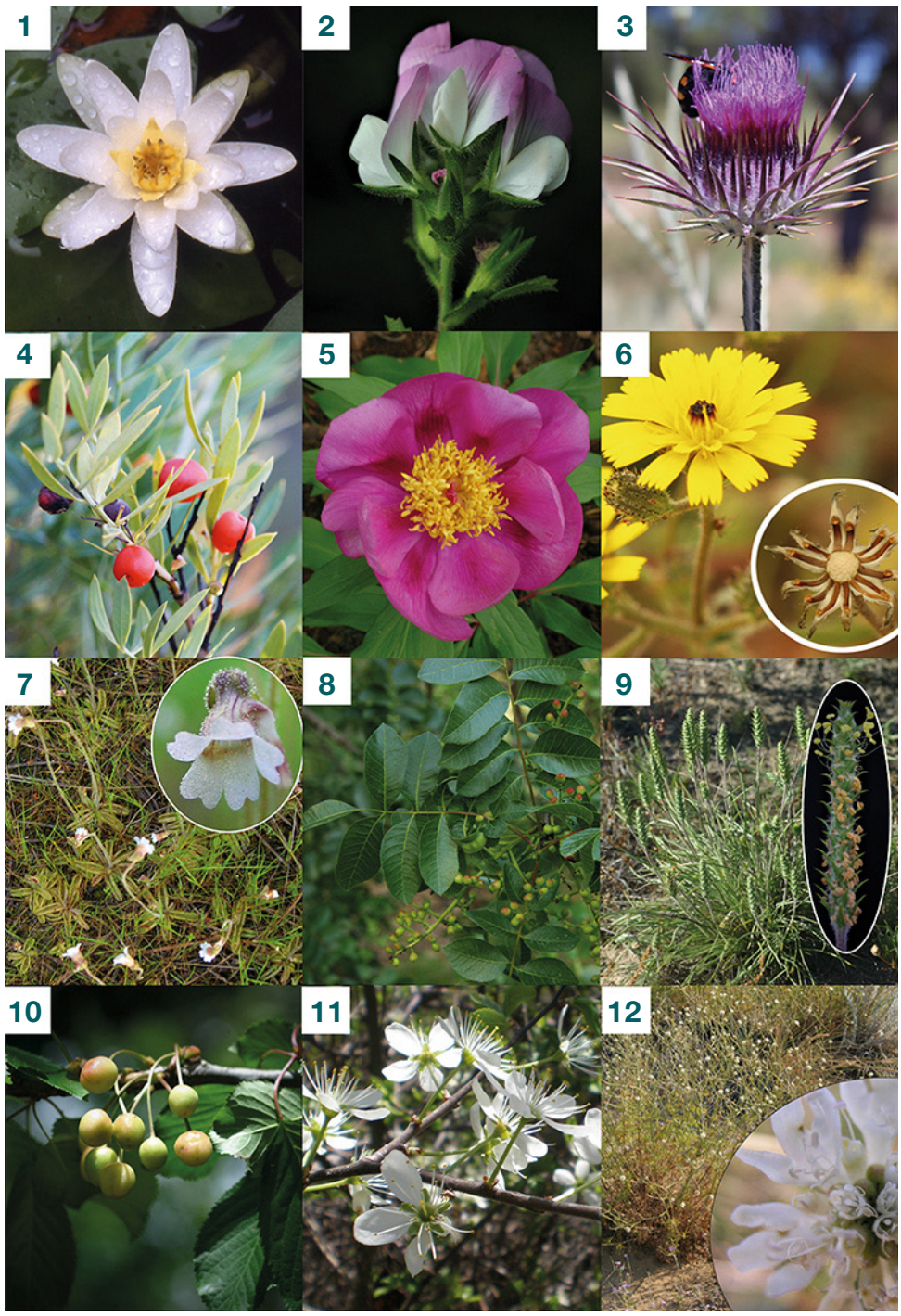


LÁMINA
03-7

Dicotiledóneas (cont.): 1) *Quercus lusitanica*, 2) *Rorippa valdes-bermejoi*, 3) *Sarcocornia alpini*, 4) *Sedum maireanum*, 5) *Thymus albicans*, 6) *Thymus carnosus*, 7) *Ulex eriocladus*, 8) *Ulex minor*, 9) *Utricularia australis*, 10) *Utricularia gibba*. **Monocotiledóneas:** 11) *Allium pruinatum*, 12) *Althenia orientalis*.

FOTOGRAFÍAS: E. Sánchez-Gullón (9, 10, 11 y 12). A.F. Muñoz-Rodríguez (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8).

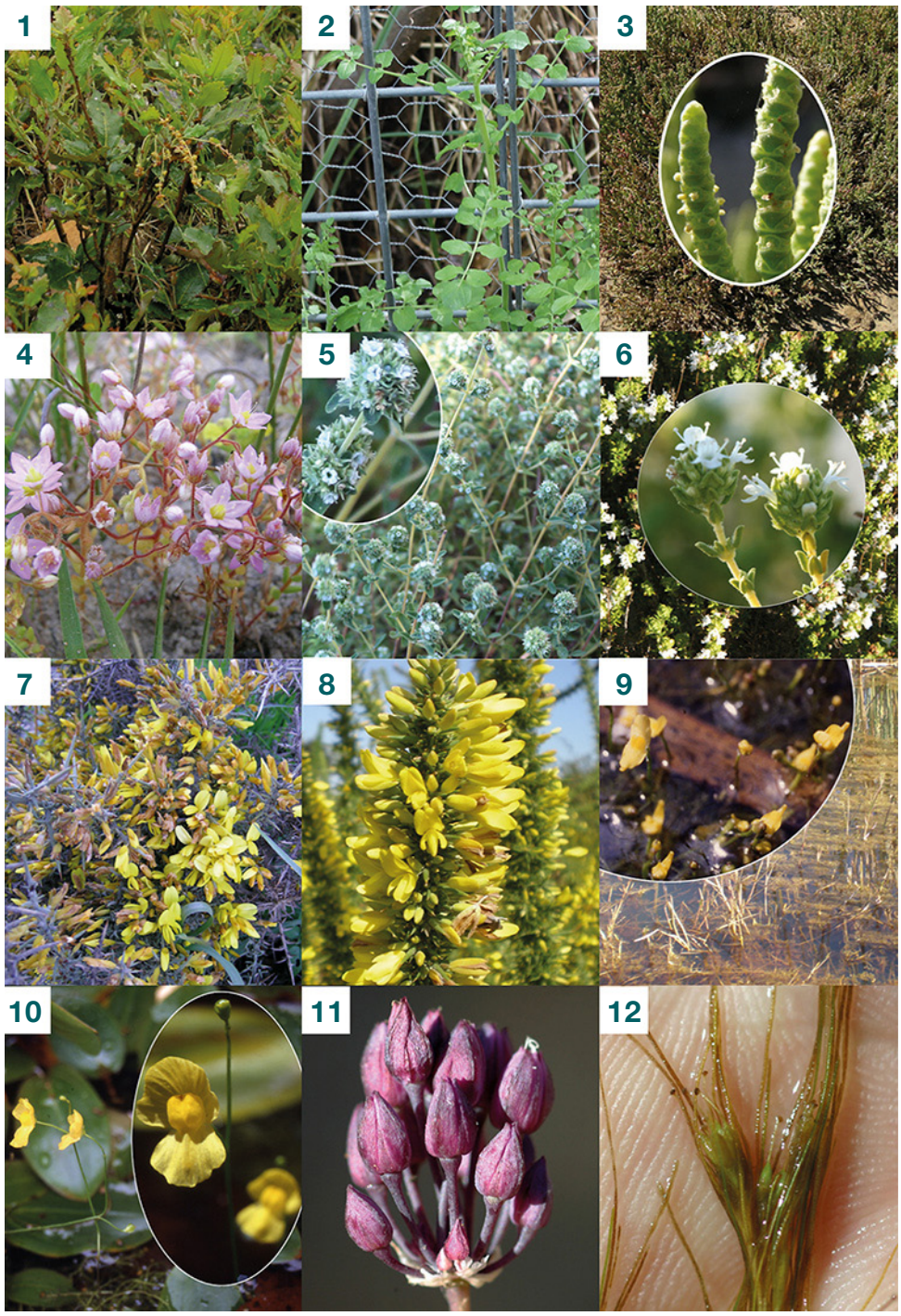
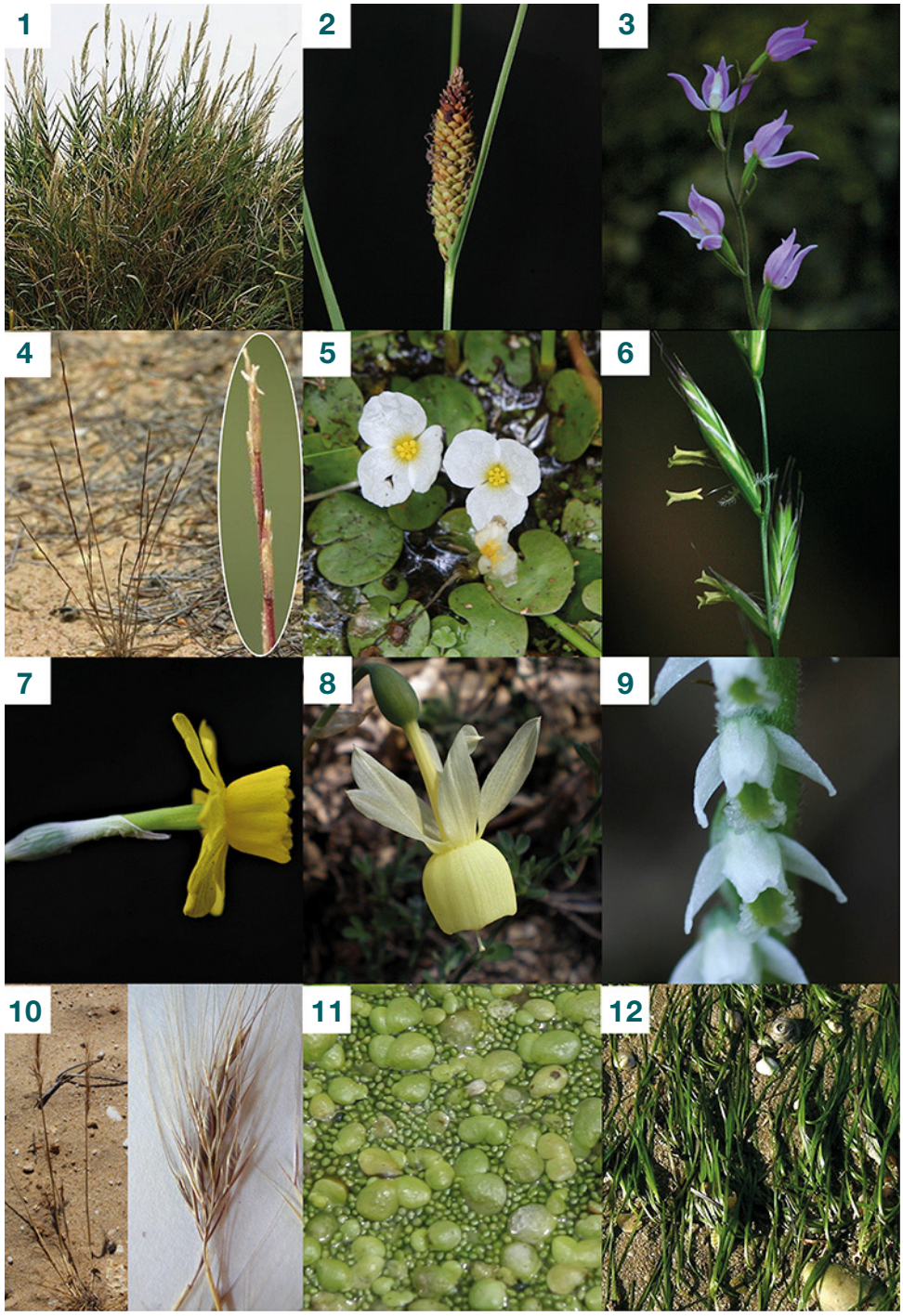


LÁMINA
03-8

Monocotiledóneas (cont.): 1) *Arundo micrantha*, 2) *Carex trinervis*, 3) *Cephalanthera rubra*, 4) *Gaudinia hispanica*, 5) *Hydrocharis morsus-ranae*, 6) *Micropyropsis tuberosa*, 7) *Narcissus assoanus*, 8) *Narcissus triandrus*, 9) *Spiranthes spiralis*, 10) *Vulpia fontquerana*, 11) *Wolffia arrhiza* (con *Lemna*), 12) *Zostera noltii.*

FOTOGRAFÍAS: E. Sánchez-Gullón (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 y 9). A.F. Muñoz-Rodríguez (5, 10, 11 y 12).





04

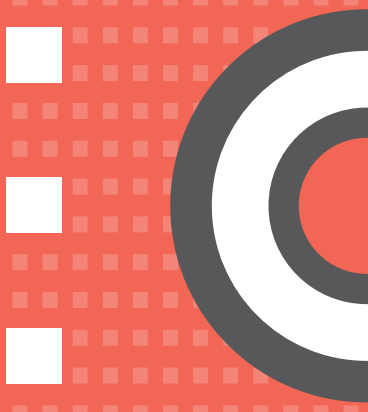
Vegetación de Huelva

Pablo J. Hidalgo Fernández *

Área de Botánica. Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales. Centro de Investigación RENSMA. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España.

* Corresponding author | Dr. Pablo Hidalgo Fernández || hidalgo@uhu.es

Tel.: +34 959 21 98 96



Vegetación de Huelva

Pablo J. Hidalgo Fernández

RESUMEN

La provincia de Huelva es la de mayor superficie arbolada de Andalucía, aunque la mayoría de estos bosques proceden de plantaciones forestales, algunas muy antiguas. No obstante, aún conserva grandes extensiones de vegetación natural derivada de los enormes bosques mediterráneos de encina y alcornoque que poblaban la Península Ibérica. Se pueden identificar distintos tipos de encinares y alcornocales dependiendo de la litología y el bioclima. Muchos de ellos se encuentran profundamente transformados, ya que han perdido el estrato arbustivo al convertirlos en dehesas. Aunque no muy abundantes, también es posible identificar algunos bosques de melojo en el norte de la provincia y salpicando algunas zonas localizamos quejigos. Las distintas etapas de degradación de estos bosques conducen a matorrales, tanto seriales como nobles, que se extienden por numerosas zonas degradadas de la provincia. Se trata de jarales-aulagares, jarales-brezales, madroñales, lentiscares, etc. En los barrancos y afloramientos rocosos se da una vegetación muy particular, denominada casmofítica, que es rica en endemismos. En los entornos riparios, cuando el cauce es permanente, es posible detectar algunas de las formaciones típicas del bosque de ribera, entre las que destacan las saucedas, alisedas y fresnedas. Cuando el cauce es estacional o intermitente, aparecen formaciones típicas de cauces mediterráneos con fuerte estiaje como adelfares, zarzales, tarajales y tamujares. Con respecto a las plantaciones forestales, son muy frecuentes las de pinares y eucaliptares. En muchos casos, estos pinares, se han naturalizado. Finalmente, en el corazón de la sierra, existen abundantes castañares, introducidos desde hace siglos para la explotación de su fruto y la madera.

PALABRAS CLAVE

Biogeografía, bioclimatología, vegetación, series de vegetación, bosque mediterráneo, plantaciones forestales, paisajes, conservación.

[1]
Introducción

La provincia de Huelva es conocida por la calidad y abundancia de productos que ofrece la naturaleza. Este territorio también es conocido por su interesante y rica diversidad de paisajes en el que concurren sierras, vegas, arenales, marismas y costas, fruto de una litología muy compleja que ha dado lugar a muchos tipos de sustrato (Olías Álvarez et al., 2008). Existen muchos Espacios Naturales Protegidos, con un Parque Nacional y numerosos Parques y Parajes Naturales y, más recientemente, con la incorporación a estos de muchas zonas que componen la Red Natura 2000 (Directiva de Hábitats, 1992). Uno de los principales componentes de la provincia es el ecosistema mediterráneo, con especies tan emblemáticas como la encina y el alcornoque. Lamentablemente, quedan pocos enclaves donde este ecosistema se conserve en su estado original, ya que se halla con frecuencia adehesado para la explotación agrosilvopastoral. La mayoría del resto de la vegetación original la componen pastizales, matorrales mediterráneos y la vegetación de roquedos. En aquellas zonas donde la red hidrográfica conserva su estructura natural podemos encontrar arbolado o matorral ripario. También, asociado a zonas húmedas, existen algunas comunidades de vegetación acuática en charcas, pequeñas lagunas, bordes de ríos, etc., que por su presencia puntual, no van a ser descritas en este capítulo. En las zonas cercanas a la costa, donde la influencia atlántica determina fuertemente la vegetación, existen playas, dunas y marismas, que serán tratados con más detalle en otros capítulos, y donde se desarrollan comunidades tan interesantes como sabinares y enebrales y otras muchas formaciones de especies halófitas. Por último, podemos observar mucho arbolado compuesto, en su mayoría, por pinos, eucaliptos y castaños que proceden de plantaciones forestales, algunas muy antiguas, que han sustituido a la vegetación original.

[1.1]
La ciencia de la vegetación

La ciencia de la vegetación intenta conocer la estructura, dinámica y distribución de las comunidades vegetales que se encuentran en una zona determinada. Su unidad básica es la asociación vegetal, es decir, la mezcla de poblaciones de diversas especies de la flora de un territorio que adoptan una fisonomía dependiente de la composición florística, tales como un bosque, un matorral, un pastizal, etc. Es una ciencia muy antigua y tiene su mayor dificultad en la identificación de aquellas comunidades nativas de los territorios que han quedado tras siglos de explotación y alteración del medio mediante actividades humanas como la agricultura, la ganadería, la minería, los asentamientos humanos y un largo etcétera. Unos restos de vegetación original, refugiados en áreas no adecuadas para la explotación, nos sirven de pista para conocer cómo era nuestro paisaje antes de esta intensa transformación.

La disciplina que describe la vegetación de una zona determinada se conoce como fitosociología. Deriva de la geobotánica y nombra a la asociación vegetal, generalmente, con dos nombres de las especies más características de la misma. La metodología se basa en un muestreo dirigido en el que se hacen inventarios de especies (Braun-Blanquet, 1979). Un análisis posterior de estos inventarios nos permite identificar las especies características, que suelen dar nombre a la asociación. Por ejemplo, los matorrales de jara pringosa (*Cistus ladanifer*) y aulaga (*Genista hirsuta*) reciben el nombre

fitosociológico de *Genisto hirsutae-Cistetum ladaniferi*. Para la clasificación de las comunidades fitosociológicas de este capítulo nos hemos basado en las publicaciones de Rivas-Martínez et al. (2001) y Valle (2004), donde se recopilan todas las descritas en España y Portugal por un lado, y en Andalucía por otro. Esta metodología no está exenta de polémica, ya que emplea el muestreo dirigido en vez del muestreo exhaustivo o al azar, el cual se emplea habitualmente en ecología (Costa Tenorio et al., 1997). Sin embargo, ha sido muy útil para caracterizar, a una escala de detalle (1:10.000) toda la vegetación natural de Andalucía, en un intenso trabajo que ha durado dos décadas (1996-2006). Estos mapas digitales, disponibles en la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM, 2020), han sido la base para este capítulo. La mayoría de la cartografía digital empleada procede de esta fuente. Esta nomenclatura fitosociológica también ha sido adoptada, más recientemente, por la Directiva de Hábitats (1992) para la caracterización de Hábitats de Interés Comunitario de su Anexo I. Dada la relevancia que ha tenido la implementación de esta directiva en la conservación de la naturaleza europea y en la creación de la Red Natura 2000, haremos referencia a esta clasificación cuando sea relevante.

De forma progresiva en el tiempo, las comunidades vegetales de nuestra zona se suceden unas a otras a modo de serie que comienza con un suelo desnudo (después de un incendio, por ejemplo), un pastizal terofítico (anual), un pastizal perenne, un incipiente matorral, un matorral serial y, finalmente, un matorral noble a cuya sombra puede germinar y crecer la especie arbórea que formará el bosque de encinas o alcornoques maduro. Este fenómeno, conocido como sucesión ecológica, se denomina serie de vegetación en la ciencia de la vegetación. Tienen como cabeza de serie a una asociación que se denomina clímax o climácica, alcornocales o encinares en el caso de la provincia de Huelva. Cada territorio, dependiendo de sus condiciones climáticas y edáficas, tendrá una serie de etapas características, que componen su serie de vegetación (Valle, 2004). Después de conocer la biogeografía y bioclimatología de la provincia de Huelva, comentaremos las principales series climácicas que podemos encontrar en nuestra geografía. El estudio de las series de vegetación también nos permite conocer la evolución regresiva de las comunidades. Cuando una presión antrópica se mantiene en el tiempo, como el pastoreo o los incendios recurrentes, o el equilibrio ecológico se ha roto (exceso de ungulados silvestres, por ejemplo), la sucesión se detiene en cualquiera de estas etapas, lo que nos ayuda a identificar el factor de amenaza que ha provocado esa interrupción. De esta manera, la ciencia de la vegetación nos puede ayudar en actividades de restauración ambiental mediante la eliminación o corrección de estos factores de amenaza.

[1.2] Biogeografía

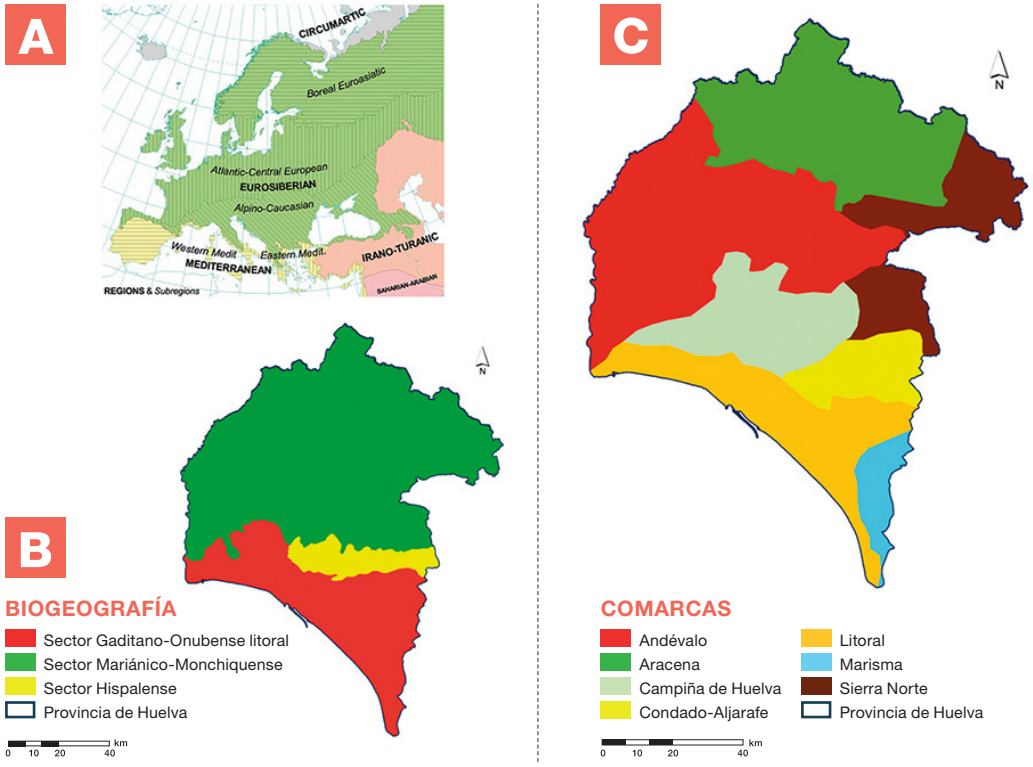
La biogeografía es la disciplina que estudia la distribución, las causas y las vías de migración de los seres vivos y de sus comunidades en la Tierra, tanto en ambientes terrestres como marinos. Mediante esta ciencia, podemos hacer una clasificación biogeográfica de la Tierra según sus categorías principales: Reino, Región, Provincia y Sector. Cada una de estas categorías está bien definida por una serie de familias y géneros botánicos que son endémicos de cada una. La Península Ibérica pertenece en su conjunto al Reino Holártico, las tierras emergidas del Hemisferio Norte. Con respecto a las regiones, la Eurosiberiana se ubica al norte (Pirineos, Cornisa Cantábrica, Galicia y Norte de Portugal), el resto queda dentro de la Región Mediterránea (Fig. 1A). Es en esta región donde se incluye Huelva, representada por

FIGURA 04-1

A. Mapa de las distintas regiones y subregiones de Europa Occidental (modificado de *Worldwide Bioclimatic Classification System*, 2018). La Península Ibérica, perteneciente al Reino Holártico, se subdivide en dos gran regiones, la Eurosiberiana al norte y la Mediterránea al sur. La provincia de Huelva pertenece en su totalidad a la Región Mediterránea.

B. Mapa de los sectores biogeográficos de la provincia de Huelva. El Mariánico-Monchiquense (que abarca Sierra Morena y Sierra de Monchique) es el sector más extendido en Huelva.

C. Comarcas geográficas de la provincia de Huelva según la clasificación de la Junta de Andalucía (1989). Cada zona es fácilmente reconocible por los municipios que alberga.



tres provincias: la Ibérico Occidental con el Sector Mariánico-Mochiquense, que ocupa Sierra Morena y Sierra de Monchique; la Andaluza-Lusitana-Litoral, representada por el Sector Gaditano-Onubense, que comprende las zonas más térmicas de las costas atlánticas de Cádiz, Huelva y el Algarve; y, por último, la Provincia Bética, con el Sector Hispalense, que abarca la enorme y fértil vega del Guadalquivir. La FIGURA 1B muestra la distribución de estos tres sectores en la provincia de Huelva, siendo el más extenso el Mariánico-Monchiquense, que abarca amplias zonas del Andévalo y Sierra de Aracena. Solo una pequeña porción del enorme sector Hispalense alcanza la provincia por su parte más oriental. Con respecto al Gaditano-Onubense, este abarca todas las zonas arenosas de la costa de Huelva incluyendo al espacio de Doñana. Esta delimitación, muy útil para la aplicación de políticas de conservación, tiene la dificultad de que utiliza regiones naturales que no obedecen a criterios de geografía política y por este motivo es

difícil encuadrar una determinada zona que habitualmente reconocemos por su topónimo. Por lo tanto, para una mejor localización de la presencia de las principales especies arbóreas de la vegetación de Huelva, hemos optado por utilizar la delimitación de las comarcas naturales de Andalucía Occidental desarrollada por la Junta de Andalucía en 1989 (REDIAM, 2020). Se trata de una nomenclatura basada en topónimos que se refieren a áreas fácilmente identificables en el territorio. La FIGURA 1C muestra los límites de estas comarcas que abarcan municipios que comparten un paisaje semejante y una denominación que utilizaremos en la descripción de la vegetación y otras zonas forestales. La comarca de mayor extensión es el Andévalo, seguido de la Sierra de Aracena.

[1.3] Bioclimatología

La Bioclimatología es la ciencia que estudia la influencia del clima sobre la distribución y abundancia de los seres vivos. Es una disciplina que intenta definir científicamente unos modelos climáticos en relación con la presencia de determinados seres vivos siendo, por tanto, un método que pone en relación la Biología y la Física. Se diferencia claramente de la Climatología por el uso de especies y comunidades para la definición de índices y unidades. Frecuentemente se utilizan especies vegetales para determinar estos índices y unidades, por lo que es común que se la denomine Fitoclimatología. Esta ciencia es fundamental para definir los distintos tipos de vegetación que encontramos en la Tierra, desde los frondosos bosques tropicales, próximos al ecuador, hasta la escasa vegetación que habita en la tundra boreal, pasando por los bosques esclerófilos, los bosques templados caducifolios y las coníferas que componen los inmensos bosques boreales de taiga. La FIGURA 2A muestra el mapa bioclimático de Europa con los límites de los distintos macrobioclimas. La Península Ibérica se encuentra a caballo entre el macrobioclima templado y el mediterráneo. La provincia de Huelva pertenece en su totalidad al mediterráneo, caracterizado por una marcada estacionalidad con un verano muy seco y caluroso, inviernos frescos y primaveras y otoños húmedos y templados. Las FIGURAS 2B Y 2C muestran los diagramas ombrotérmicos de las series históricas de Huelva y Aracena. Ambos diagramas revelan un período de fuerte sequía estival coincidiendo con las temperaturas máximas. Sin embargo, la temperatura media en Huelva es de 18,2 °C, mientras que en Aracena es de solo 14,8 °C, lo que indica su carácter más continental y mayor altitud. Con respecto a las precipitaciones, en Huelva se alcanzan poco más de 500 litros anuales, mientras que en la sierra esta cantidad se duplica (1.100 mm/año).

Cada macrobioclima está caracterizado por un termotipo que matiza, con un prefijo (infra-, termo-, meso-, supra-, oro-, crioro-), el componente térmico del clima. De esta manera, podemos encontrar en las zonas más cálidas de la provincia de Huelva el bioclima termomediterráneo, mientras que en las zonas más frías del interior se localiza el mesomediterráneo (Fig. 3). A su vez, cada uno de estos termotipos se puede subdividir en superior o inferior según el grado de termicidad. Según esto, las zonas llanas más costeras pertenecerían al termomediterráneo inferior, quedando la mayoría del Andévalo en el termomediterráneo superior. De igual modo, la mayoría de las sierras de Huelva pertenecerían al mesomediterráneo inferior, y en las zonas de cotas más altas el mesomediterráneo superior. La identificación de estos pisos bioclimáticos es clave para entender la distribución de la vegetación, ya que cada uno de ellos mantendrá a unas especies u otras y, por tanto, a las distintas series de vegetación.

FIGURA 04-2

A. Mapa bioclimático de Europa (modificado de *Worldwide Bioclimatic Classification System*, 2018). La Península Ibérica participa de dos grande macrobioclimas, el templado al norte, donde habitan robles y hayas, y el mediterráneo al sur.

B y C. Diagramas ombrotérmicos de las estaciones meteorológicas de Huelva y Aracena (fuente: www.globalbioclimatics.org). Muestran la distribución anual de las precipitaciones (línea azul) y temperaturas (línea roja). En la parte superior, aparece la síntesis de los datos climáticos, las coordenadas y la altitud sobre el nivel del mar.

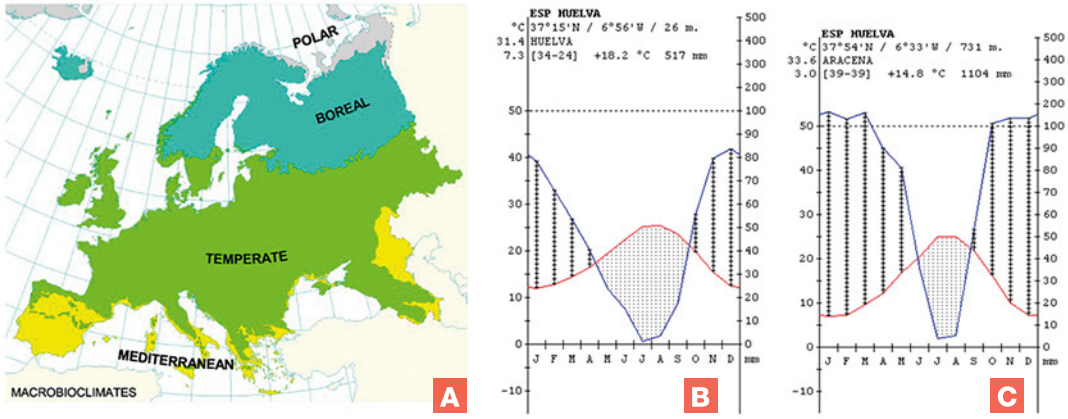
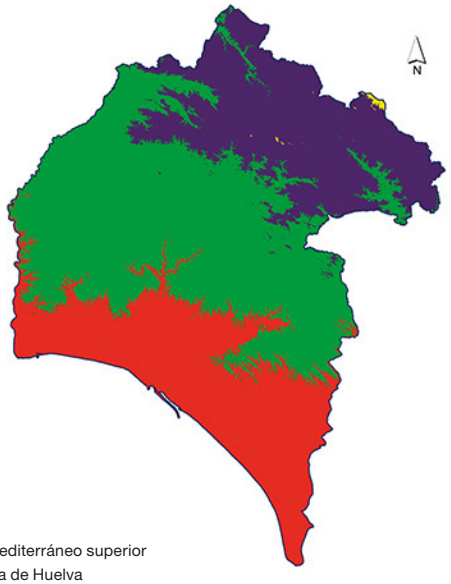


FIGURA 04-3

Mapa bioclimático de la provincia de Huelva

La zona sur pertenece al bioclima termomediterráneo (superior e inferior). La zona norte, más continental y con orografía más acusada, muestra un bioclima mesomediterráneo. En algunos enclaves se identifica el mesomediterráneo superior, que condiciona fuertemente la vegetación dominante.



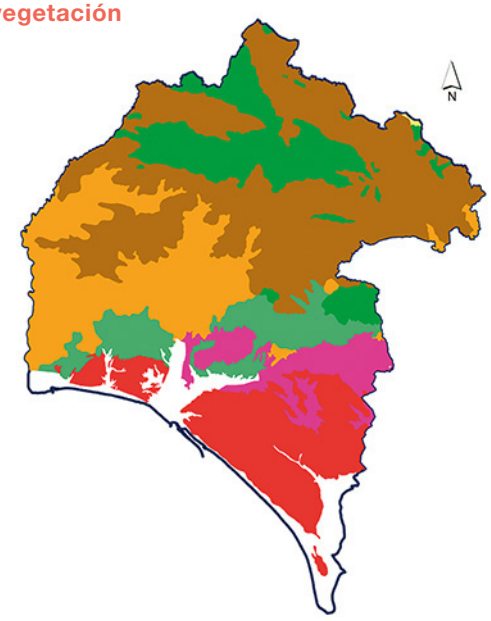
[1.4]
Las series de vegetación

En ambientes ecológica y biogeográficamente homogéneos, podemos encontrar tipos de comunidades que componen las series de vegetación. La comunidad clímax es la que determina el nombre de esta serie, que en la provincia de Huelva estaría compuesta por un bosque cerrado de quercíneas (encinas y alcornoques en su mayoría), con un matorral noble en el sotobosque, mientras que en los claros aparecerían diversas comunidades de pastizal y matorral característicos de cada serie. Además de las particularidades edáficas del terreno, se identifica como factor determinante el componente climático, por lo que estas series reciben el nombre de climatófilas. La FIGURA 4 muestra los límites de las distintas series climatófilas que podemos identificar en la provincia de Huelva. Así, localizamos tres series del alcornoque, siendo las dos termomediterráneas dependientes de distinto tipo de litología, silicícola una (*Myrto communis-Querceto suberis* S.) y sabulícola (*Oleo sylvestris-Querceto suberis* S.) la otra. La tercera pertenece al mesomediterráneo (*Sanguisorbo agrimonioidis-Querceto suberis* S.) y se da en zonas con orografía más acusada, pero en terrenos frescos y templados. Con respecto a la encina, aparecen igualmente tres series: dos termomediterráneas, una silicícola (*Myrto communis-Querceto rotundifoliae* S.), correspondiente a las zonas más secas del Andévalo y otra basófila (*Smilaco mauritanicae-Querceto rotundifoliae* S.), perteneciente al Sector Hispalense sobre los terrenos del Condado-Aljarafe. La tercera es de tipo mesomediterráneo y se extiende por las zonas más frías y secas de toda la sierra de Huelva (*Pyro bourgaeanae-Querceto rotundifoliae* S.). Aunque con presencia muy restringida, tenemos una interesante serie adicional cuyo clímax es un bosque de roble melojo (*Arbuto unedonis-Querceto pyrenaicae* S.). Esta se distribuye en zonas de acusada altitud, sobre sustratos silíceos, donde el bioclima reinante es mesomediterráneo superior.

FIGURA 04-4

Distribución de las distintas series de vegetación identificadas en la provincia de Huelva

La mayoría tienen alcornocales y encinares como comunidad clímax, que dependen fundamentalmente del bioclima y sustrato. Existe una pequeña extensión de la serie del roble melojo al norte.



[1.5]
El bosque mediterráneo

El ecosistema mediterráneo

El ecosistema mediterráneo se encuentra distribuido entre los paralelos 30 y 40, tanto en el hemisferio norte como en el sur. Está presente en todos los continentes salvo en la Antártida. Su localización es costera, alejado de zonas más continentales y su emplazamiento siempre es al oeste de estas zonas, ya que la fuerza de Coriolis impulsa los frentes nubosos desde esta dirección. Es posible identificarlo en California, Chile, cuenca mediterránea, Región del Cabo y Australia. En cada uno de esos puntos del planeta se dan unas condiciones ambientales, fundamentalmente el clima, que coinciden en veranos secos y calurosos e inviernos fríos y húmedos. Cada zona del planeta tiene sus especies propias, sin embargo, la estructura y dinámica y la mayoría de adaptaciones, fruto de fenómenos de convergencia evolutiva, son semejantes. Cualquier habitante del Andévalo se sentiría como en casa si viajara al chaparral californiano o al suroeste de Australia. Echaría en falta algunas especies representativas de nuestra tierra como el alcornoque, exclusivo de la cuenca mediterránea occidental, pero seguro que identificaría otras que, por su parecido, le recordarían a nuestra provincia.

¿Sabías que...?

La diversidad de plantas y el grado de endemicidad de las especies que albergan estos cinco enclaves de clima mediterráneo han motivado a la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, *Commission on Ecosystem Management*) a realizar su inclusión como *Hot Spots* (puntos calientes) de biodiversidad. Aunque representan poco más del 2% de la superficie terrestre, esas 5 regiones albergan un 20% de las especies vegetales del mundo.

Ecofisiología del ecosistema mediterráneo

De los muchos tipos de bosques que hay en el planeta, los más llamativos son las selvas tropicales. Cuando observamos con fascinación la frondosidad y altura de los árboles de las inmensas selvas amazónicas, nos cuesta entender que esas plantas disfrutan de unas condiciones lujuriantes que habitualmente no disponen otros bosques: temperaturas estables todo el año, intensa radiación solar y precipitaciones diarias. Solo compiten por espacio y luz, lo cual explica la altura de los árboles y la abundancia de lianas y epífitos. Si comparamos estos condicionantes ambientales con las de los frondosos bosques mediterráneos que aún sobreviven en Huelva comprobamos que, con respecto a las precipitaciones, estas son erráticas en abril, ya escasas en mayo y prácticamente ausentes en junio, julio, agosto y septiembre. Solo a principios de octubre comienzan a aparecer frentes con la suficiente humedad como para dejar las primeras precipitaciones. Con ese largo 'verano' de casi 5 meses sería difícil ver crecer a cualquiera de las especies que se aprecian en las selvas tropicales. Si comparamos las temperaturas, los inviernos en Huelva, especialmente en la sierra, son fríos; a veces, con temperaturas negativas, aunque no extremas. Y los veranos

son muy calurosos con temperaturas máximas, en muchas ocasiones, superiores a los 40ºC. De nuevo, una situación difícil para una planta tropical que goza de temperaturas medias de entre 20-30ºC. Al hacer esta simple comparativa, ¿no nos debería fascinar igualmente este extraordinario y exclusivo ecosistema mediterráneo, mereciendo el mismo o, por qué no, más interés y aprecio que el de cualquier otra zona del planeta?

Pero, ¿cómo pueden las especies mediterráneas soportar estas duras condiciones climáticas? Existen multitud de adaptaciones con el propósito de evitar pérdidas de agua por evapotranspiración. Algunos ejemplos son las hojas y ramas transformadas en espinas, que además evitan así la predación de herbívoros. También encontramos hojas esclerófilas, pequeñas y coriáceas, con gruesas cutículas y estomas hundidos y recubiertos de pelos. Todas estas adaptaciones, junto con otras muchas menos visibles y de naturaleza fisiológica, conforman lo que se conoce como ecofisiología del bosque mediterráneo (Zamora Rodríguez y Pugnaire de Iraola, 2001; Terradas, 2001).

Alcornocales y encinares

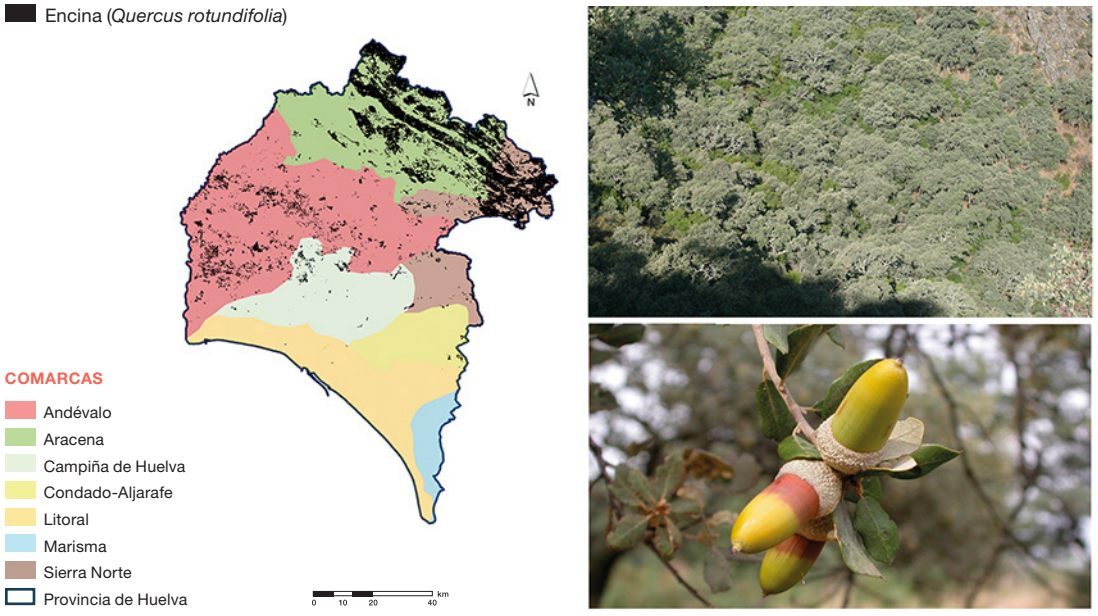
Si algo caracteriza el paisaje de Huelva son sus encinares y alcornocales. Aunque su presencia está frecuentemente asociada a las dehesas, estos son los componentes arbóreos del bosque mediterráneo original. La encina (*Quercus ilex*) es un árbol de hasta 25 m de altura, aunque puede adoptar la forma de un arbusto rastrero dependiendo de la calidad del suelo o la intensidad de la predación por herbivoría. Tiene la corteza oscura y agrietada y sus hojas, perennes, son pequeñas y coriáceas en comparación con otras frondosas europeas. Su fruto es la bellota, que madura en octubre-noviembre y es la base de la alimentación de numerosas especies del bosque mediterráneo. Se localiza en la Península Ibérica desde el nivel del mar hasta los 1400 m, aunque no son infrecuentes algunos ejemplares a casi 2000 m s.n.m. Aunque suele estar asociada a suelos básicos, puede mostrar cierta indiferencia edáfica si las condiciones ambientales le son favorables. Con respecto a las temperaturas, es capaz de soportar con facilidad los largos y secos veranos así como períodos más o menos prolongados de heladas nocturnas. En relación a las precipitaciones, sobrevive con escasamente 400 mm anuales. En toda la cuenca mediterránea se han descrito dos subespecies que difieren fundamentalmente por la forma de sus hojas y el sabor de sus bellotas. La encina o carrasca, subespecie típica de la mayoría de la Península Ibérica y norte de África, tiene sus hojas redondeadas y las bellotas son por lo general dulces. Se le conoce como *Q. ilex* subsp. *ballota* aunque existe gran controversia con respecto a si es una especie diferente o no, siendo en este caso denominada *Q. rotundifolia*. La otra subespecie, *Q. ilex* subsp. *ilex*, tendría las hojas puntiagudas y las bellotas más amargas, y se distribuye por el resto de la cuenca mediterránea: costa francesa, islas mediterráneas, penínsulas italiana y griega, y Anatolia. Independientemente de la consideración de subespecie o especie, existe una clara asociación entre la presencia de bellotas dulces y la excelente calidad de los productos del cerdo ibérico, que alcanza en Huelva su máximo exponente.

La FIGURA 5 muestra la distribución de la encina en la provincia de Huelva. La presencia en la zona termomediterránea es muy abundante, especialmente en el Andévalo, aunque todos estos bosques originales han sido transformados en dehesas. Una excelente representación de estas dehesas las encontramos en la zona de Paymogo. Con respecto a los encinares mesomediterráneos, su presencia alterna entre dehesas y bosques puros dependiendo del uso que se le dé al

territorio. Son muy frecuentes al norte de la sierra de Huelva en las laderas orientadas al sur y en suelos poco desarrollados.

FIGURA 04-5

Mapa de distribución de la encina en la provincia de Huelva y detalles del bosque puro de encinas, acompañado de matorral noble, y de su característico fruto, la bellota dulce.



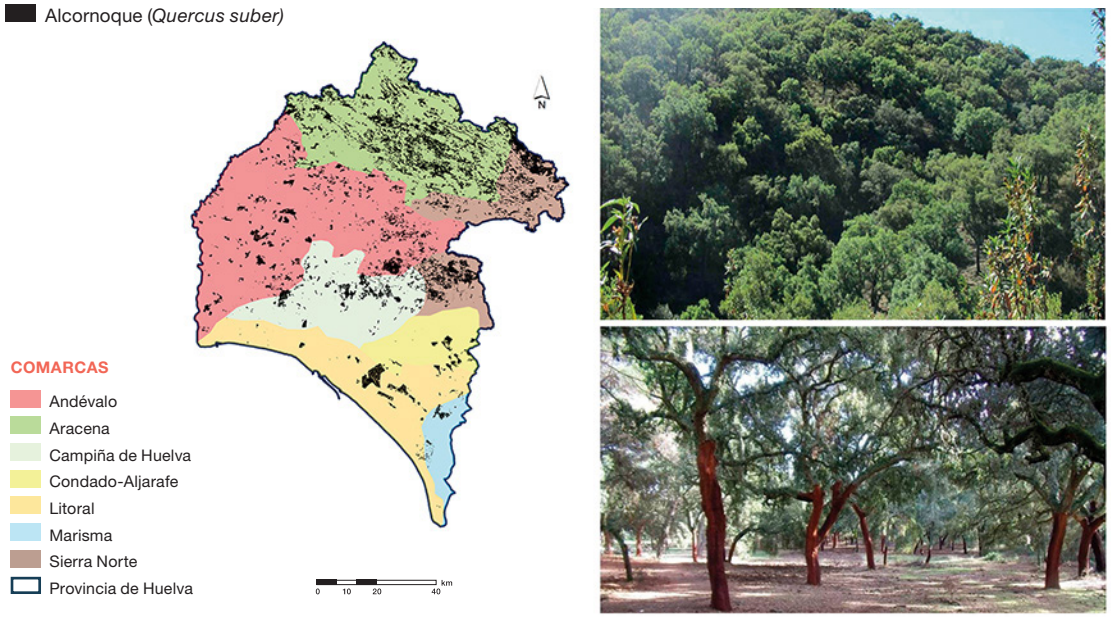
El alcornoque es un árbol de unos 20-25 m de altura, que tiene una característica corteza que puede alcanzar los 15 cm de grosor. Su hoja, también perenne y esclerófila, es de tamaño algo mayor que la de la encina y más alargada. Su fruto es asimismo la bellota, que madura en octubre-noviembre. En la Península Ibérica puede desarrollarse desde el nivel del mar hasta los 1200 m s.n.m. Con respecto a la litología, es una especie de hábito claramente acidófilo, de ahí que esté prácticamente ausente en las Sierras Béticas andaluzas y en otras zonas de litología caliza. Tiene un marcado carácter atlántico, lo que explica que su distribución en la cuenca mediterránea se sitúe en la zona occidental. Esta influencia atlántica hace que determinados enclaves del mediterráneo occidental tengan temperaturas más suaves (tanto la máxima como la mínima) y dispongan de al menos los 600 mm anuales que precisa el alcornoque para sobrevivir. Así pues, se trata de una especie que rehúye de las fuertes heladas nocturnas que se producen en invierno en zonas de media o alta montaña o en las zonas más continentales. La FIGURA 6 revela cómo la distribución del alcornoque se reparte por casi todas las comarcas, lo que indica el marcado carácter atlántico de nuestra provincia. De las tres series de vegetación descritas, la mejor conservada es lógicamente la de la sierra, más difícil de transformar en dehesas u otros usos agrícolas o forestales. En esta zona, los alcornocales se disponen en las laderas

más frescas y húmedas, que de forma habitual tienen orientación norte. Solo en las zonas más húmedas del Andévalo encontramos alcornoques, aunque algunos proceden de programas de reforestación de la Unión Europea (Directivas CEE 2080/92 y CEE 1698/2005).

En general, la mitad sur de la provincia se encuentra mucho más degradada y con actividades agrícolas, algunas de muy reciente introducción, como los cultivos intensivos de frutos rojos, que hacen incompatible la presencia de bosques maduros. Además, reforestaciones muy antiguas han sustituido la vegetación original, dando lugar a formaciones, por lo general pinares ya naturalizados. Según esto, de las dos series termomediterráneas del alcornoque, la silicícola presenta aún algunos enclaves bien conservados en los alrededores de Valverde y Berrocal. Sin embargo, el alcornocal sabulícola (sobre arenas) está prácticamente ausente en todo el territorio donde hay potencial para su desarrollo. Grandes extensiones de Doñana y su entorno fueron en el pasado densos alcornocales que hoy día han quedado relegados a unos pocos individuos aislados en determinadas zonas o, de forma más reciente reintroducidos en algunas zonas sometidas a estrategias de ecología de la restauración. Más extremo es el caso del occidente de la costa de Huelva, donde la presencia de espacios naturales protegidos es menor y la ausencia de formaciones naturales de esta serie es casi absoluta. Con respecto a los alcornocales mesomediterráneos, abundantes en el Parque Natural de la Sierra de Aracena, muestran en muchas ocasiones un excelente estado de conservación, con la única perturbación de las actividades de descorche que se producen con una periodicidad en torno a los 9 años.

FIGURA 04-6

Distribución del alcornoque en la provincia de Huelva y vistas generales de un bosque maduro y adehesado. Es muy abundante en las sierras, siendo más escaso en el sur, donde se encuentra adehesado de forma habitual.



¿Sabías que...?

La característica corteza que tiene el alcornoque es fuente de muchos productos empleados en la industria. El más conocido es su uso como tapón para botellas de vino. También se emplea como material aislante. Es precisamente esta propiedad la que le previene del daño que ocasionan los frecuentes incendios de la zona mediterránea. Existen muchas especies pirofíticas que se estimulan con el fuego, como algunas semillas de pino o incluso muchas jaras que facilitan la expansión del fuego y luego vuelven a recolonizar el territorio con sus semillas. En el caso del alcornoque, esta gruesa corteza actúa de protección contra el fuego, impidiendo que el calor alcance los meristemos de crecimiento. Es muy frecuente observar restos quemados de alcornoque donde comienzan a brotar nuevas ramitas que en pocos años terminan restaurando el árbol original.



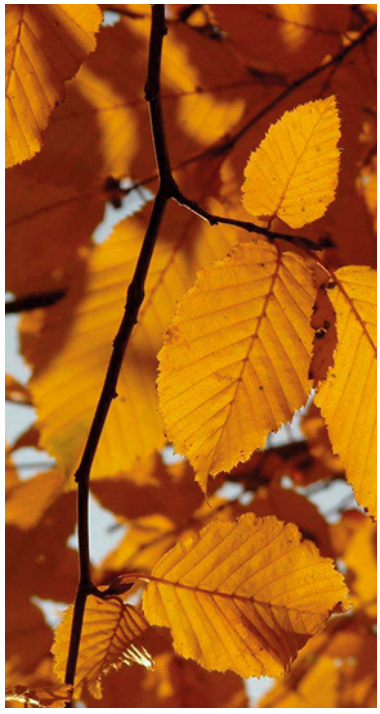
Melojares y otros robles marcescentes

Aunque ya hemos mencionado que los bosques climácicos que se extienden por todo el territorio onubense están compuestos por encinas y alcornoques, es preciso señalar una excepción en aquellos enclaves donde las temperaturas invernales son más extremas con largos períodos de heladas nocturnas. Se trata de las zonas donde se alcanza el mesomediterráneo superior (ver FIGURAS 3 Y 4) y el frío y la abundancia de precipitaciones permite la entrada de otra quercínea, el roble melojo (*Quercus pyrenaica*), con grandes hojas marcescentes y profundamente lobuladas, que recuerda a los robles caducifolios de Europa Occidental, como el roble carvallo (*Q. robur*) o el roble albar (*Q. petraea*). Sin embargo, en su mayoría es una especie de distribución ibérica que se localiza en las zonas más frías y húmedas de la región mediterránea de nuestra península y en las más secas y cálidas de la eurosiberiana. Se trata de un árbol de unos 10-15 m de altura que puede alcanzar los 1600 m s.n.m. Aunque el epíteto específico hace referencia al área pirenaica, es muy escaso en esa zona, debiendo su nombre a un error de etiquetado cuando la especie fue descrita. La serie del melojo mesomediterráneo se halla distribuida puntualmente en el norte de la provincia de Huelva, en cotas cercanas a los 1.000 m. Aunque existen algunos melojares en los alrededores de Jabugo, es al norte de Arroyomolinos de León donde encontramos un interesante melojar que coincide con el techo de la provincia de Huelva, el pico Bonales (1.055 m s.n.m). Hay una ruta que lo atraviesa desde el cementerio de Arroyomolinos de León hasta el Monasterio de Tentudía, ya en la provincia de Badajoz donde podemos disfrutar de esta singular especie ibérica.

Además del roble melojo, salpicando aquí y allá, en los fondos de los valles y zonas frescas y húmedas, aparecen el quejigo (*Quercus faginea*) y el quejigo africano (*Q. canariensis*). Son también especies de hoja marcescente que en otoño e invierno contrastan fuertemente con el paisaje siempreverde de encinares y alcornocales.

¿Sabías que...?

La marcescencia es un fenómeno no del todo bien conocido. Las hojas, caducas, se secan en otoño pero se mantienen en la copa durante todo el invierno. Solo a la llegada de la primavera, las hojas secas se caen y brotan las yemas de las nuevas. Existen varias teorías que explicarían esta especie de semi-caducifolia (Costa-Tenorio et al., 1997). Una de ellas, indica que pude ser una protección contra los fríos vientos del invierno, impidiendo que el viento gélido atraviese y congele las yemas dormidas. Otra, está enfocada en la recuperación de los nutrientes, al retardar la caída de las hojas en los momentos de más intensidad del viento, para evitar que el esfuerzo fisiológico invertido no sea arrastrado por los fuertes vientos y no sean recuperados en el suelo circundante. Finalmente, también se piensa que puede ser una caducifolia incompleta u opcional que permite mantener las hojas semifuncionales si la temperatura o el invierno no es muy riguroso. De esta manera, aprovecharían al máximo las lluvias otoñales e invernales, ya que son especies mediterráneas donde el verano es muy árido.



Matorrales

A pesar de la enorme extensión de las zonas arboladas en Huelva, lo realmente dominante por toda la provincia son los matorrales. Proceden de la degradación de los bosques originales, que da lugar a las distintas formaciones de la serie de vegetación correspondiente. Se trata, pues, de matorrales seriales y nobles (Figs. 7 y 8), que caracterizan amplias zonas de Doñana y su entorno, el Andévalo y la Sierra de Aracena. Su clasificación es compleja y se identifican multitud de matorrales en el territorio (Santa-Bárbara Carrascosa & Valdés Castrillón, 2008, Muñoz et al., 2008, López Albacete, 2009). Describimos aquí los más frecuentes y característicos de nuestra provincia:

JARAL-AULAGAR

Comunidad: *Genisto hirsutae-Cistetum ladaniferi.* Comunidad dominada, sobre todo, por la jara pringosa, *Cistus ladanifer* y, en menor grado, por la aulaga, *Genista hirsuta*. Ambas especies son fuertemente heliófilas, con un sistema radical muy superficial y adaptadas a ambientes xéricos y silíceos [FIGURA 7A]. A veces, se enriquece con otras especies como el cantueso (*Lavandula stoechas*) y el garbanzuelo (*Erophaca baetica*). Constituye la etapa serial más abundante en Sierra Morena ya que pertenece a la mayoría de los encinares y alcornocales silicícolas. Suele estar en zonas degradadas con suelos poco evolucionados y con fuerte insolación. Se desarrolla bien en zonas que llevan varios años sin roturar y donde este matorral denso puede

sobrepasar los 2 metros de altura. Dependiendo de la litología y la humedad, es susceptible de enriquecerse con brezos (Fig. 7D), fundamentalmente de brezo rubio (*Erica australis*). Cuando esta comunidad de jaral-aulagar está madura, comienzan a crecer en su interior lentiscos (*Pistacia lentiscus*), acebuches (*Olea europaea* var. *sylvestris*), madroños (*Arbutus unedo*), mirtos (*Myrtus communis*), etc., que darán lugar a comunidades más complejas de la serie de vegetación.

JARAL-TOJAR

Comunidad: *Ulici eriocladi-Cistetum ladaniferi.* Comunidad muy parecida a la anterior, en la que se sustituye la aulaga por un tojo endémico de la zona llamado *Ulex eriocladus* (Fig. 7C). Habitualmente es una etapa de degradación de encinares. Con respecto a los condicionantes ambientales, es muy similar a la ya descrita. También puede enriquecerse con el brezo rubio (*Erica australis*, Fig. 7), constituyendo una subasociación más húmeda y acidófila que es muy frecuente al norte del Andévalo y Sierra de Aracena.

MADROÑAL

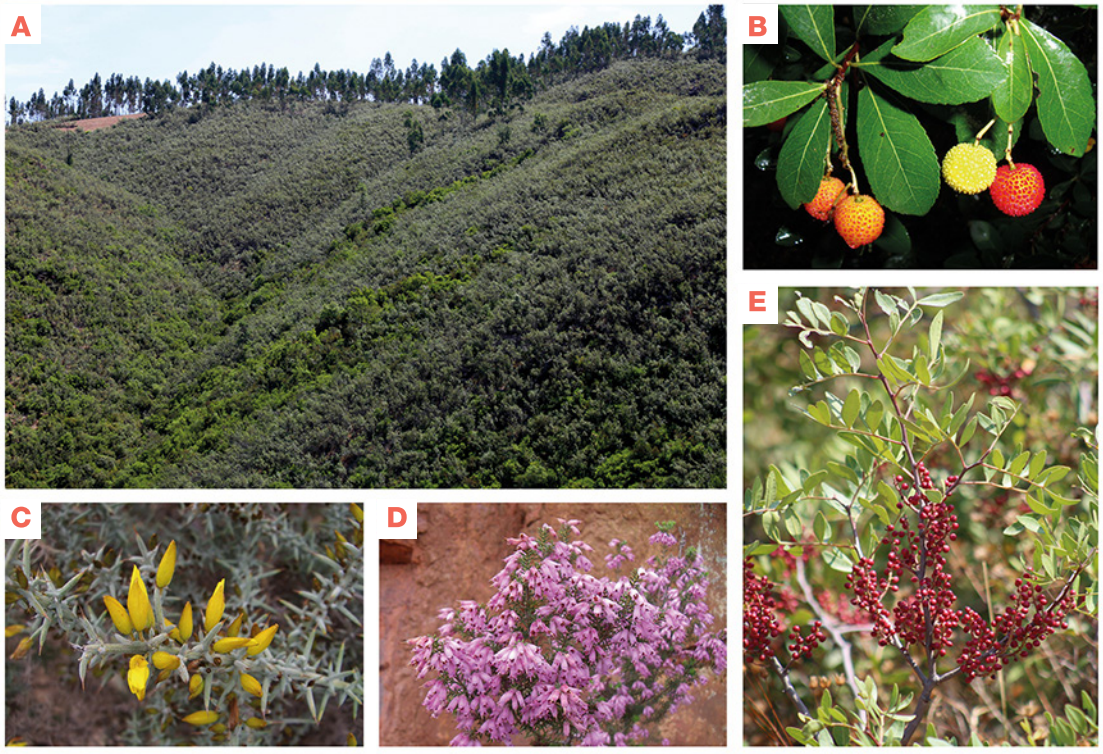
Comunidad: *Phillyreo angustifoliae-Arbutetum unedonis.* Matorral noble de densa cobertura y altura media de 3,5 m, conocido como madroñal. Se encuentra dominado por el madroño (*Arbutus unedo*, Fig. 7B), que en ocasiones llega a adquirir porte arbóreo, formando un bosquete denso. Suele estar acompañado de numerosas especies características, como el brezo (*Erica arborea)* o el labiérnago (*Phillyrea angustifolia)*. También acompañan otras especies lianoides como la zarzaparrilla (*Smilax aspera*) o la madreselva (*Lonicera implexa*). Es la principal etapa de sustitución de encinares y alcornocales y suele desarrollarse sobre suelos bien conservados, profundos y frescos, formados a partir de rocas ácidas o descarbonatadas. Cuando madura, comienzan a desarrollarse pequeñas plántulas de quercíneas (encina y alcornoque) que darían lugar al bosque climácico. Uno de los mejores madroñales que podemos disfrutar en la provincia de Huelva se localizan en el Paraje Natural Peñas de Aroche, al sur de la carretera de Aroche en dirección a Rosal de la Frontera.

LENTISCARES, ACEBUCHARES y COSCOJARES

Comunidad: *Asparago albi-Rhamnetum oleoidis.* Es la primera etapa de sustitución de encinares. En Huelva suele aparecer como un lentiscar (*Pistacia lentiscus*, Fig. 7E), aunque es muy frecuente la presencia del acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris*) y en determinados enclaves la coscoja (*Quercus coccifera*). Crece en cualquier tipo de suelo y prefiere las orientaciones de solana, que justifica la presencia de muchas especies termófilas. Los lentiscares se distribuyen por zonas bien conservadas de la provincia de Huelva, aunque son especialmente abundantes en las solanas de los valles del Paraje Natural de Sierra Pelada y Ribera del Aserrador, que se localiza en los alrededores del antiguo poblado forestal El Mustio.

FIGURA 04-7

A. Madroñales (fondo de vaguadas, verde más intenso) y jarales en las laderas de la Ribera del Aserrador. **B. Detalle de los frutos otoñales e invernales del madroño** (*Arbutus unedo*). C. El característico tojo verde ceniciento del Andévalo (*Ulex eriocladus*). **D. Foto de la intensa floración del brezo rubio** (*Erica australis*). **E. Hojas y frutos del lentisco** (*Pistacia lentiscus*).



CAMBRONAL

Comunidad: *Genistetum polyanthi*. Esta asociación, dominada por el cambrón (*Genista polyanthos*), es típica de suelos rocosos y ácidos, frecuentes en cresterías y afloramientos rocosos. Actúa como una comunidad permanente, ya que las características del suelo no dejan implantar otras comunidades más desarrolladas. Se trata de una asociación endémica del sector Mariánico-Monchiquense. En Huelva suele aparecer en las laderas descarnadas de solana de los márgenes de ríos. También en afloramientos rocosos donde se ha ido formando un incipiente suelo.

JAGUARZAL o MONTE BLANCO

Comunidad: *Halimio halimifolii-Stauracanthetum genistoidis*. Es una comunidad muy extendida en el sur de la provincia, en las zonas de arenales del litoral onubense y muy frecuente en Doñana (Fig. 8). Está formada por matorral xerófito que se asienta en zonas de arenales

profundos donde el freático está a más de 2,5 m. También ocupa paleodunas y arenales costeros, siempre que no estén sometidos a la acción del viento costero cargado de sales. La naturaleza arenosa del terreno donde habita el monte blanco hace que sean suelos pobres en nutrientes. Las especies más frecuentes son el jaguarzo (*Halimium halimifolium*) y la aulaga (*Stauracanthus genistoides*), aunque suelen acompañar muchas otras especies como *Halimium commutatum*, *Cistus libanotis*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula sampaiana* o *Thymus mastichina*. El nombre de monte blanco es debido al aspecto cenizo del jaguarzo y a lo arenoso del medio donde se desarrolla. Este matorral se considera como una etapa serial del sabinar (*Juniperus phoenicea* subsp. *turbinana*) que tanto abunda en las costas de Huelva.

MONTE NEGRO

Comunidad: *Erico scopariae-Ulicetum australis*. Comunidad casi exclusiva de Doñana y su entorno, donde puede llegar a ser muy frecuente en el paisaje. Tiene una estructura muy densa, compuesta por el escobón (*Erica scoparia*, Fig. 8) y el tojo (*Ulex australis*). Se asienta en zonas donde el freático no es muy profundo y puede formar matorrales de gran talla (hasta 3 m). Dada la composición de la comunidad, brezos y tojos, de tonalidades oscuras y suelos más oscuros por la mayor presencia de materia orgánica (turba), hacen que a esta formación se le diera el nombre de monte negro en contraste con el descrito en el apartado anterior. Este matorral pertenece a la serie de vegetación de los alcornoques sabulícolas (*Oleo sylvestris- Quercetum suberis* S.), que originalmente se asentaban en la mayoría del espacio de Doñana.

FIGURA 04-8

A: Matorral de monte blanco en el espacio de Doñana y B: detalle del escobón (*Erica australis*) característica de matorral de monte negro (foto de la derecha).



[1.6]
Formaciones de ribera

El ambiente ribereño

Las formaciones de ribera se encuentran adyacentes a masas de agua como lagos, arroyos y ríos. Su estructura y dinámica es dependiente de las características ambientales de las riberas: presencia permanente u ocasional de agua, mayor humedad relativa ambiental, mayor disponibilidad de humedad edáfica y temperaturas menos extremas (tanto la máxima como la mínima). Las especies que se desarrollen en estos ambientes tendrán unas características muy particulares que, generalmente, irán enfocadas a la tolerancia a suelos encharcados y a la presión mecánica de las avenidas. El exceso de agua en el suelo/cauce es compensado con una elevada tasa de evapotranspiración, que consigue eliminar agua con mucha facilidad. Si además el cauce es estacional o intermitente, deberán desarrollar estrategias que les permitan sobrevivir en los períodos de sequía.

Cauce estable o permanente

Cuando los cauces son de naturaleza permanente (presencia de agua durante todo el año, aunque sea en forma de humedad edáfica), encontramos la típica formación de bosque de ribera. Se trata de bosques riparios compuestos por especies caducifolias que se disponen en bandas paralelas al cauce y que, dependiendo del grado de tolerancia al encharcamiento y presión mecánica de las avenidas, se ordenarán, en el tramo medio-bajo de un cauce ideal, de la siguiente manera (Borja Cardelús, 1991): sauces (*Salix* sp.), alisos (*Alnus glutinosa*), álamos (*Populus alba*, *P. nigra*), fresnos (*Fraxinus angustifolia*) y olmos (*Ulmus minor*). La realidad es bien distinta: existen muy pocas localizaciones donde el castigado bosque de ribera aún mantenga a sus especies nativas. La intensa transformación de las cuencas hidrográficas, con presas y embalses, y la sobreexplotación de sus orillas por actividades agrícolas y de pastoreo hacen que a duras penas se pueda identificar su vegetación potencial, identificando solo algunas etapas de degradación como zarzales o tamujares, más propios de cauces intermitentes. En otras ocasiones, sus especies han sido frecuentemente sustituidas por otras con fines madereros con álamos alóctonos o eucaliptos para favorecer la desecación. Esta intensa transformación de las cuencas, la eliminación del bosque de ribera y los asentamientos en zonas adyacentes suelen provocar muchos desastres que son tildados de naturales cuando en realidad solo obedecen a una mala planificación y a la ocupación de zonas que, de forma habitual, usan los ríos para sus puntuales crecidas extremas. No obstante, haremos una breve descripción de las principales especies y mencionaremos ciertos enclaves donde aún pueden observarse algunos bosques moderadamente bien conservados. Existen muchas especies de sauces en la provincia de Huelva, siendo el sauce atrocinereo (*Salix atrocinerea,* FIGURA 9C) el más abundante, aunque no es raro encontrar otros como *S. fragilis*, *S. alba*, *S pedicellata*, y *S. purpurea*. En general, todos colonizan las gravas fluviales, y ocupan las zonas de inundación, ya que toleran muy bien los cambios bruscos de nivel que se producen tras las fuertes lluvias. Aunque las saucedas son bastante frecuentes en toda la provincia, estas son muy frecuentes en ciertos enclaves del espacio de Doñana, con el arroyo de la Rocina como máximo exponente. Los alisos (*A. glutinosa*) se asientan en riberas con aguas muy pobres en carbonatos y justo detrás de

la banda de sauces pues también son muy tolerantes a las avenidas y a suelos permanentemente encharcados. Se trata de una especie muy frecuente en Europa Occidental y sus formaciones son consideradas como prioritarias por la Directiva de Hábitats con el código 91E0*. Una de las mejores alisedas de la provincia de Huelva la encontramos en el río Múrtigas, que ya desde su nacimiento en Fuenteheridos muestra un bosque que se mantiene prácticamente sin interrupción, salvo en zonas con fuerte presión ganadera, hasta la frontera con Portugal a la altura de Encinasola [FIGURA 9D]. Solo en algunos puntos es sustituida por choperas (*Populus* x *canadensis*, *P. nigra,* FIGURA 9B) que es posible que hayan sido introducidas, al no ser consideradas nativas del sur peninsular (Lara et al., 2004). En zonas con sustratos arenosos y aguas pobres en carbonatos encontramos fresnedas más o menos bien conservadas del fresno de hoja estrecha *(Fraxinus angustifolia*, FIGURA 9A*)*. Es una especie menos exigente en cuanto a humedad edáfica, por lo que se sitúa algo más alejada del cauce. Ocupan muchas riberas permanentes de casi toda la provincia, aunque la mejor representación está en el arroyo de la Rocina (Parque Nacional de Doñana). Desde el Palacio del Acebrón hay un recorrido donde se puede atravesar ese amplio bosque de ribera con sauces rojos (*S. atrocinerea*) en la zona inundada y flanqueado por enormes ejemplares de fresno de hoja estrecha. Finalmente, chopos, álamos y olmos se localizan en cauces ricos en carbonatos y ya muy alejados del cauce donde solo existe humedad edáfica. De las dos especies de *Populus* identificadas en la provincia, solo el álamo blanco (*P. alba)* es considerado nativo, puesto que es una especie más termófila. El chopo negro *(P. nigra)* solo aparece puntualmente en algunas riberas, aunque es confundido con frecuencia con *P.* x *canadensis*, un híbrido entre *P. nigra* y *P. deltoides*, muy utilizado por la industria forestal. Este híbrido se diferencia con facilidad por su hojas jóvenes con forma deltoidea (triangular con la punta en contra del pecíolo) mientras que el chopo negro las tiene romboideas. Con respecto a las olmedas (*Ulmus minor*), son realmente escasas en la provincia de Huelva debido tanto a la pobreza en carbonatos de sus cauces como por la afectación por grafiosis, una enfermedad fúngica que arrasó la mayoría de las olmedas durante el siglo XX. Hoy se están seleccionando nuevas variedades resistentes al hongo responsable de esta patología con el fin de reintroducir esta especie en las riberas españolas (Martín et al., 2015). Existe una pequeña olmeda cerca de Huelva en la finca Pallares, a pocos kilómetros del desvío hacia Fuente de la Corcha, en la carretera de Beas a Valverde del Camino.

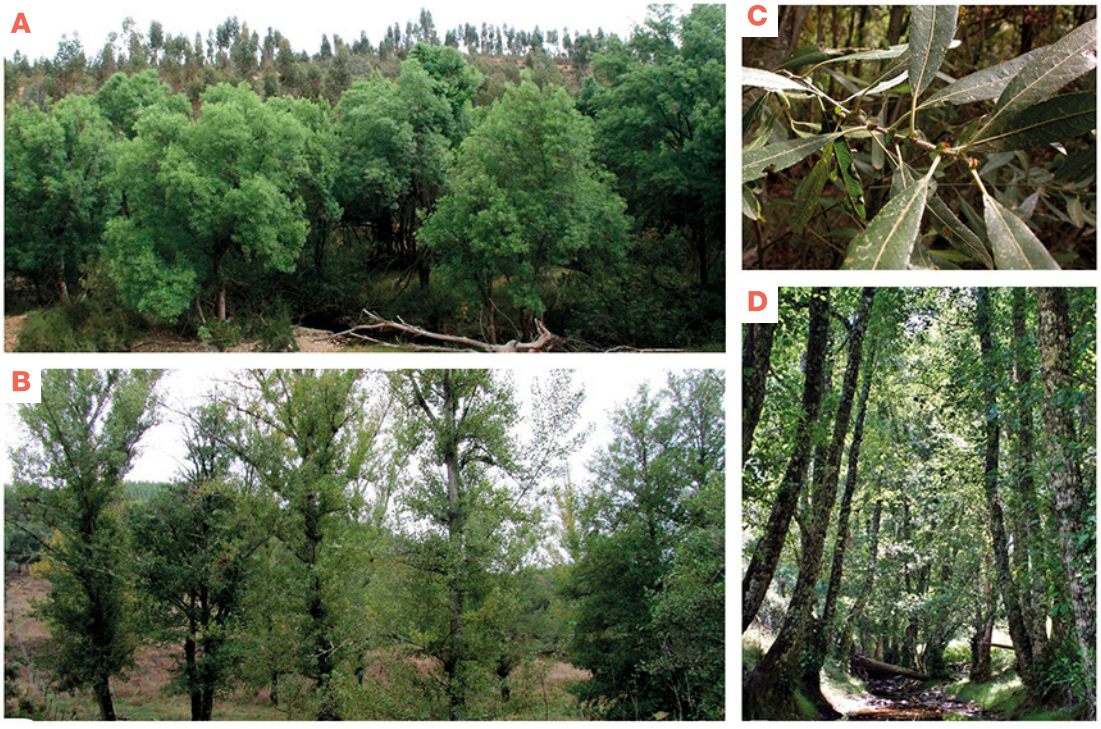
¿Sabías que...?

Todas las especies del bosque de ribera son caducifolias. Este carácter les viene heredado por su origen, es decir la región Eurosiberiana, donde el frío invernal hace que las especies tiren la hoja a principios de otoño. Hayas y robles caducifolios son habituales en dicha región y no sobreviven en ambientes secos como la provincia de Huelva. Sin embargo, estas especies de ribera, al mantener tal carácter, fijado genéticamente, siguen tirando la hoja en otoño en nuestra provincia aunque el clima invernal no sea riguroso. Los bosques riparios contrastan con el bosque mediterráneo simpreverde, que durante el otoño e invierno, con precipitaciones abundantes, se encuentra activo y con todo su verdor.

FIGURA 04-9

Diversas formaciones y especies de ribera

A. Fresneda de fresno de hoja estrecha. B. Chopera de chopo negro (*Populus nigra*). **C. Sauce rojo** (*Salix atrocinerea*). **D. Aliseda de** *Alnus gluninosa*.



Cauce estacional o intermitente

Cuando el cauce presenta períodos de inundación, frecuentemente después de las lluvias, que alternan con largos ciclos de sequía, encontramos los arroyos temporales y ramblas tan típicos de la región mediterránea. En este caso, las especies caducifolias eurosiberianas no son capaces de subsistir y en su lugar aparecen otras tan comunes y frecuentes como la zarza (*Rubus ulmifolius*) o la adelfa (*Nerium oleander*), que componen los amplios zarzales-adelfares (Fig. 10) de la provincia de Huelva. Son especies muy tolerantes a la aridez extrema que muestran los cauces en verano, siempre que exista algo de humedad freática debido a las inundaciones temporales. También es posible encontrar, especialmente en la zona del Andévalo, una especie dominante en estos cauces inestables silíceos denominada tamujo (*Flueggea tinctoria=Securinega tinctoria*), que forma extensos tamujares (Fig. 10) en las cabeceras de muchos arroyos y en los cauces degradados de algunos ríos como el Odiel. Se trata de una planta de hoja caduca que recuerda en parte a los bosques de ribera eurosiberianos del apartado anterior. Ya con menor frecuencia y cuando hay cierta salinidad en el cauce, es posible localizar tarajales, compuestos en su mayoría por *Tamarix africana* y *T. canariensis,* en formaciones muy abiertas, dependiendo de la disponibilidad de agua.

FIGURA
04-10

Vista general de un zarzal-adelfar (A) y de un tamujar (B)



¿Sabías que...?

Todas estas especies de ambientes ribereños son muy sensibles a la contaminación. En la Faja Pirítica Ibérica, con una buena representación en la provincia de Huelva, aparecen numerosos afloramientos de rocas ácidas y explotaciones mineras que generan drenajes ácidos. Cuando estos drenajes alcanzan la red hidrográfica, todas las especies mencionadas desaparecen por causa de la acidez extrema y la presencia de metales pesados. Su espacio es entonces ocupado por un singular brezo (*Erica andevalensis*), el cual es capaz de sobrevivir en este ambiente tan estresante. Junto a estos brezos también podemos encontrar razas o ecotipos de cárices (*Carex* sp.) y juncos (*Juncus* sp.) que son igualmente capaces de sobrevivir en esos hábitats.





[1.7]
Vegetación de roquedos

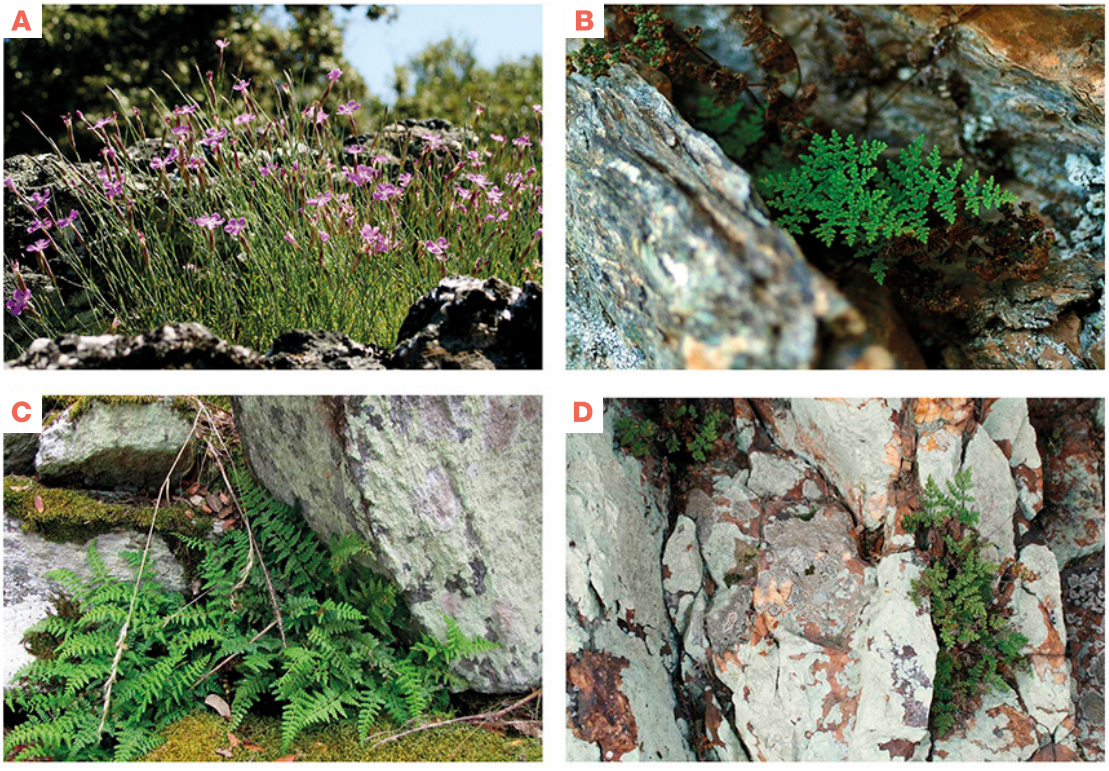
La provincia de Huelva presenta una orografía relativamente suave. No tiene grandes cumbres y solo en la sierra y algunos puntos del Andévalo encontramos zonas de barrancos y afloramientos rocosos que mantienen a una vegetación muy característica y que ha merecido su inclusión en el grupo 8 (Hábitats rocosos y cuevas) de la Directiva de Hábitats. Son pequeñas islas de biodiversidad en el seno de formaciones boscosas o riparias. El grado de aislamiento y la diversidad florística justifican el interés de estas formaciones. Por ejemplo, en la peña cuarcítica de Puebla de Guzmán, se localizan las únicas poblaciones de *Narcissus scaberulus* (López Tirado et al, 2016) y de *Erodium mouretii* (Perez Chiscano, 1986) de la provincia de Huelva. Las plantas de estas zonas son muy dependientes de la naturaleza de la roca en la que subsisten, aunque también influyen otros parámetros como la insolación (solana/umbría). Habitualmente enraízan en los detritos de la roca madre que se deposita en oquedades, fisuras y grietas, en condiciones edáficas extremas, por lo que no suelen presentar mucha cobertura vegetal. Existe un innumerable conjunto de comunidades casmofíticas (son las que viven en paredes verticales o muros) asociadas a estos roquedos. Describimos a continuación las principales asociaciones, vinculadas en su mayoría a rocas silíceas, que podemos encontrar en la provincia de Huelva:

- **COMUNIDAD DE CLAVEL SILVESTRE:**
  Jasiono marianae-Dianthetum lusitani. Está caracterizada por la presencia de un clavel silvestre (*Dianthus lusitanus*, [FIG. 11A]) endémico de la zona, además de otras especies como *Digitalis purpurea* y *Antirrhinum onubense*. Tiene su máximo desarrollo en orientaciones poco soleadas, empobreciéndose en elementos característicos cuando la insolación y xericidad aumentan (Melendo, 1998).

- **COMUNIDADES DE HELECHOS CASMOFÍTICOS:**
  Asplenio billotii-Cheilanthetum hispanicae. Se trata de una comunidad de helechos casmofíticos perennes como *Asplenium billotii* [FIG. 11C] y *Cheilanthes hispanica* [FIG. 11B]. Ambas especies tienen apetencias dispares con respecto a la insolación. *C. hispanica* es heliófila y *A. billotti* rehúye de estas orientaciones de solana. En muchos casos no comparten las mismas fisuras rocosas, aunque sí los mismos roquedos, en orientaciones o vertientes distintas.
  Cheilantho maderensis-Cosentinietum velleae. También helechos perennes de las especies *Cosentinia vellea* y *Cheilanthes maderensis* (Fig. 11D). Ocupa las fisuras de paredes verticales. *C. maderensis* prefiere hábitats más resguardados de la luz y con una relativa humedad ambiental, mientras que *C. vellea* es heliófila y prefiere zonas fuertemente insoladas (Salvo, 1982).
  Polypodietum serrati. Comunidad rupícola de sombra, compuesta exclusivamente del helecho *Polypodium cambricum*. Propio de cantiles umbrosos, repisas de peñascos, muros y taludes terrosos cubiertos por suelo rico en restos vegetales. Puede tener una altura media de hasta 60 cm. Se presenta sobre litología tanto silícea como básica.

FIGURA 04-11

A: Clavel silvestre (*Dianthus lusitanus*). **B:** *Cheilanthes hispanica*. **C:** *Asplenium billoti*. **D:** *Cheilanthes maderensis*.

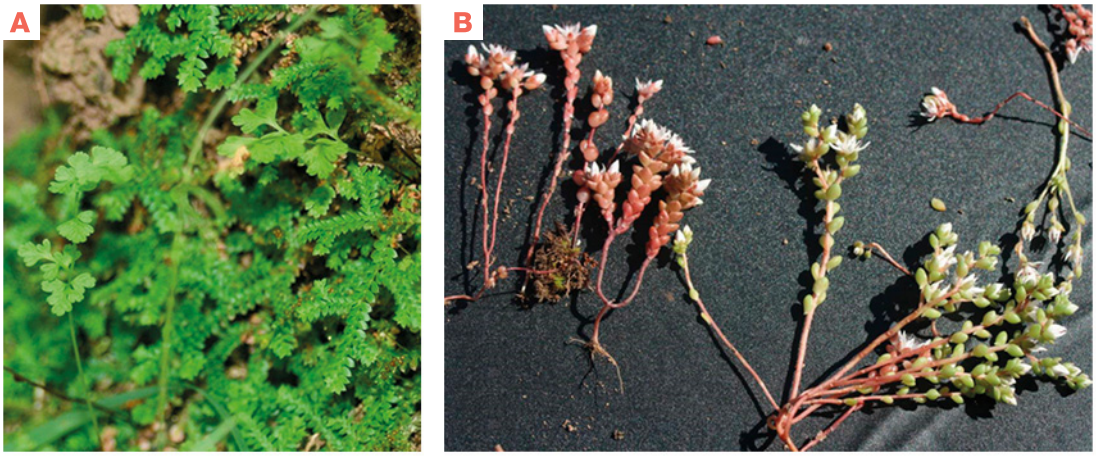


- **COMUNIDADES DE HELECHOS ESCIÓFILOS (DE LUGARES UMBROSOS):** *Selaginello denticulatae-Anogrammetum leptophyllae.* Caracterizados por los helechos *Anogramma leptophylla* y *Selaginella denticulata* [FIG. 12A]. Crecen en lugares especialmente umbríos y húmedos, como pequeños taludes verticales de tierra a orillas de cauces, generados por la actividad erosiva de las aguas y a la sombra de la vegetación riparia. Presentan una cobertura elevada, aunque muy baja altura media (menos de 5 cm).

- **COMUNIDAD RUPÍCOLA (DE ROCAS) PIONERA:** *Sedetum caespitoso-arenarii.* Micropastizal anual, pionero, de desarrollo fugaz, de plantas crasifolias, rojizas, de unos 4-5 cm, codominado por *Sedum arenarium* y *Sedum caespitosum* [FIG. 12B]. Aparece sobre suelos esqueléticos de origen granítico.

FIGURA 04-12

A: Comunidad de helechos esciófilos compuesta por *Annogramma leptophylla* (a la izquierda) y *Sellaginella denticulata* (a la derecha). **B:** Detalle de las especies *Sedum caespitosum* (izquierda) y *Sedum arenarium* (derecha), de la comunidad rupícola de *Sedetum caespitoso-arenarii*.



[1.8] Plantaciones forestales

La provincia de Huelva es la primera en Andalucía en superficie arbolada, con unas 100.000 ha de formaciones forestales. Sin embargo, casi un tercio corresponde a eucaliptares y más de 40.000 ha a pinares. Estas plantaciones se desarrollaron masivamente desde mediados del siglo XX, después de la Guerra Civil, pues con motivo del cese del comercio exterior, se propuso como actividad de reindustrialización y para satisfacer la demanda de recursos forestales del Estado. Se plantaron 2,5 millones de ha, en su mayoría eucaliptos y pinos, siendo desde entonces una actividad habitual en la provincia de Huelva, que comparte con otras regiones como Galicia o Asturias. No se trata pues de vegetación, ya que esta hace referencia al conjunto de vegetales propios de un territorio. Son plantaciones forestales y su estructura y dinámica obedece exclusivamente a técnicas de manejo forestal. Sin embargo, dada la frecuencia y extensión de estos bosques artificiales en nuestra provincia, hemos considerado oportuno describirlos en este capítulo. Además, en algunas ocasiones, estas plantaciones se han naturalizado y ahora forman parte habitual del paisaje de una manera estable en el tiempo, sin la ayuda de técnicas forestales.

Eucaliptares

Los eucaliptos forman parte del paisaje de la provincia de Huelva. En total existen unas 500 especies del género *Eucalyptus*, la mayoría de ellas son muy importantes en Australia por su apreciada madera y por formar parte de sus bosques nativos. En nuestra provincia, su rápido crecimiento y su facilidad para adaptarse y crecer hasta en los terrenos más pobres hicieron que estas especies fueran especialmente cultivadas para fabricar pasta de papel. Sin embargo, desde el punto de

vista ambiental han supuesto la modificación de las propiedades del suelo en el que fueron cultivados, impidiendo el desarrollo de otras especies. Muchos terrenos no aptos para la agricultura, pero también zonas naturales de alto valor ambiental sucumbieron a esta vorágine forestal que en muchas ocasiones ha generado un paulatino empobrecimiento de la biodiversidad. La FIGURA 13 muestra la distribución de las plantaciones de eucalipto en la provincia. Aunque muy abundantes por todo el Andévalo, están también muy presentes en casi todas las comarcas de Huelva, con un núcleo principal al norte de la Palma del Condado, entre Valverde y Berrocal y otro de grandes dimensiones en la zona de Sierra Pelada (El Mustio). Afortunadamente, son menos frecuentes en el Parque Natural de la Sierra de Aracena y Picos de Aroche y en el espacio de Doñana.

El eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*) es la especie de plantaciones forestales más extendida en el territorio onubense. Se trata del árbol más rentable en explotaciones de ciclo corto de clima mediterráneo (Domingo Santos, 2010), habiendo aportado empleo y riqueza en muchas zonas rurales pobres. Su producción era destinada a su uso como pasta de papel que nutría a la fábrica de celulosas de ENCE en San Juan del Puerto hasta su cierre en 2014. Las instalaciones obsoletas y el cambio hacia un modelo energético de biomasa (producción de electricidad mediante restos vegetales) han hecho que el destino de estos eucaliptares sea incierto. Actualmente, se siguen explotando y enviando sus productos a papeleras de Portugal o por barco a otras factorías. Quizá sea esta una buena oportunidad para volver a recuperar aquellos bosques originales mediante técnicas de ecología de la restauración, al menos los que están dentro de la Red de Espacios Naturales Protegidos (RENPA) o bien el cambio de uso a una actividad más sostenible como dehesas. Por otro lado, debido a la capacidad de sus raíces para absorber agua, el eucalipto también fue cultivado tradicionalmente para desecar zonas pantanosas y evitar enfermedades como el paludismo, seleccionado para este propósito el eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*).

Castañares

El castaño (*Castanea sativa*) es un árbol robusto de hoja caduca y corteza cenicienta. Tiene un fruto comestible muy nutritivo, la castaña, muy apreciada en repostería o asadas. Procede del Mediterráneo Oriental y fue introducido, desde muy antiguo, en la mayoría de Europa. Además de sus frutos, también ha sido muy importante por la dureza y durabilidad de su madera. En la provincia de Huelva encontramos numerosas plantaciones de castaño, generalmente a más de 600 m s.n.m. en zonas frescas con precipitaciones superiores a los 900 mm anuales. Si bien se trata de bosques manejados para la obtención de madera y frutos, muchos de ellos muestran una estructura y dinámica muy semejantes a un bosque maduro. Albergan a numerosas especies del ecosistema mediterráneo y son famosas las setas que crecen bajo su abrigo. Esta biodiversidad y el uso ancestral de sus productos han favorecido su inclusión como Hábitat de Interés Comunitario (Código 9260-Bosques de *Castanea sativa*, Directiva de Hábitats), siempre y cuando tengan una cobertura de entre 30-100% y un estrato arbustivo de especies propias del bosque. Son bosques de gran belleza que, además de aportar una fuente económica a la zona, fomentan las actividades de senderismo y contacto con la naturaleza. La Fig. 14 muestra la localización de estos castañares en la provincia de Huelva, con la mejor representación en el corazón del Parque Natural de la Sierra de Aracena y Picos de Aroche.

FIGURA 04-13

A. Distribución de los eucaliptares en la provincia de Huelva. Son muy frecuentes en el territorio y todos proceden de plantaciones forestales. La mayoría se encuentran en explotación, aunque no es infrecuente observar algunos abandonados o individuos dispersos en vaguadas. **B.** *Eucalyptus camaldulensis*. **C.** *Eucalyptus globulus*.

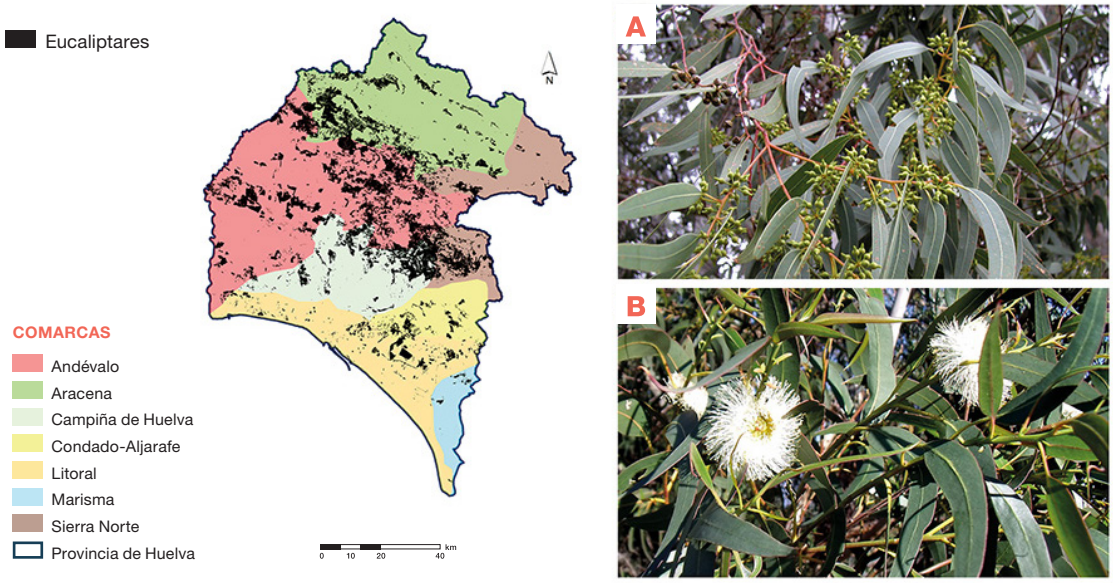
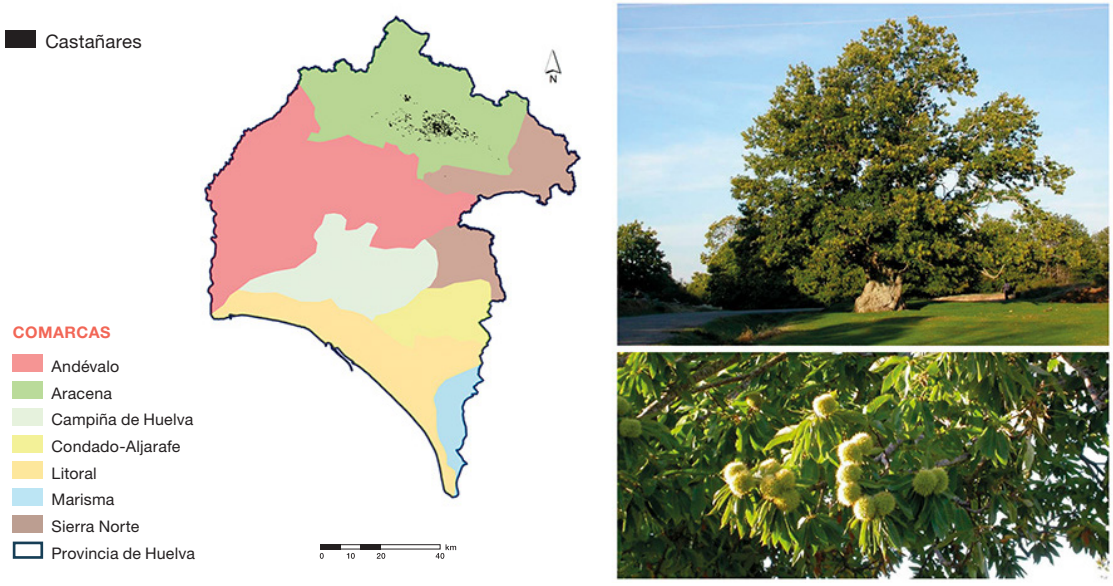


FIGURA 04-14

Distribución de los castañares de Huelva. Se restringen a la sierra de Aracena, donde sus frutos son muy apreciados.



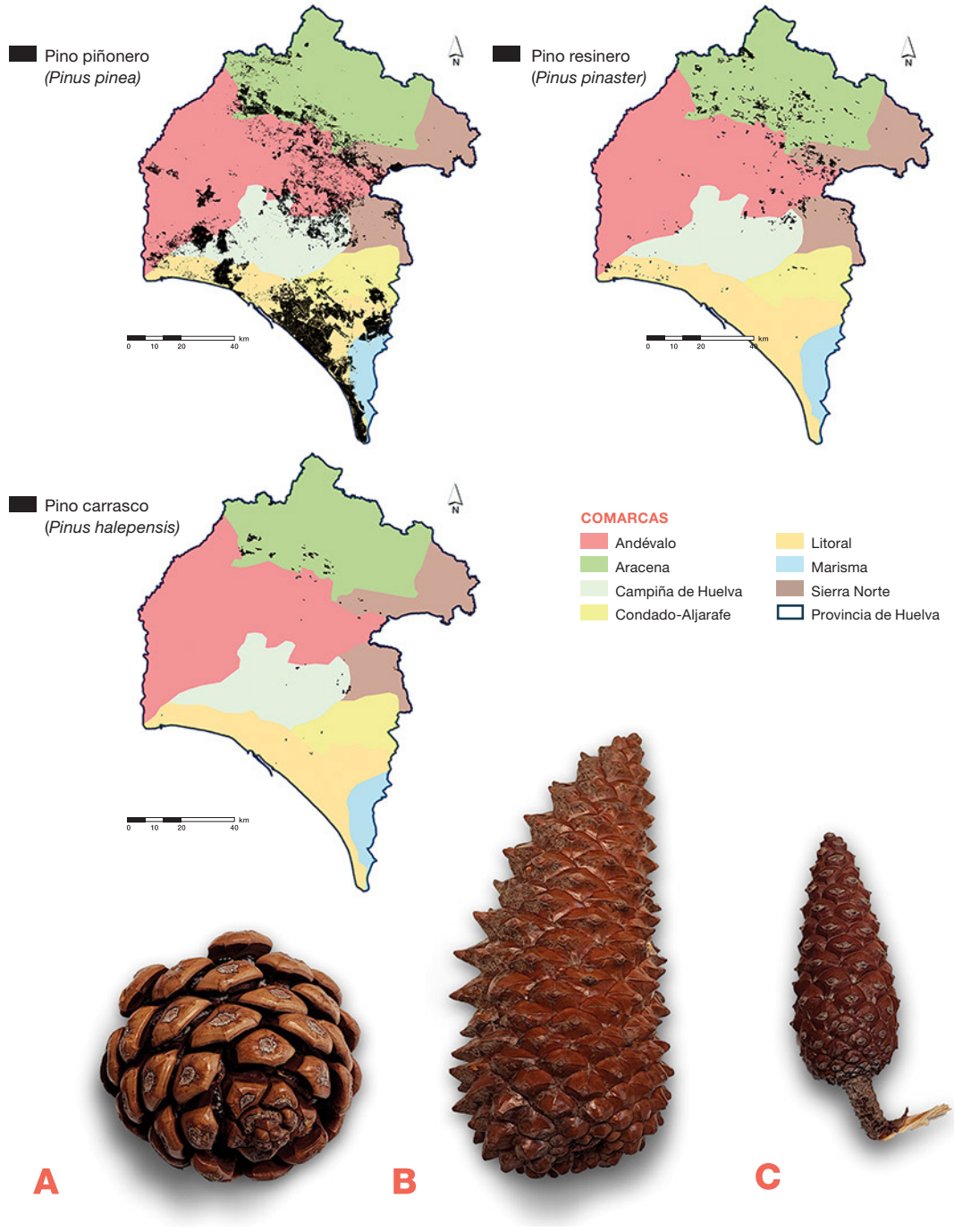
Pinares

Los pinos onubenses (*Pinus pinea*, *P. halepensis* y *P. pinaster*) se encuentran ampliamente distribuidos por la cuenca del Mediterráneo, por lo que es difícil establecer cuál era su distribución original (López González, 2004). En general, son especies adaptadas a condiciones ambientales muy estresantes como suelos pobres en nutrientes o zonas muy áridas y térmicas. Aunque en la Península ibérica se dan ciertas condiciones restrictivas que indican la espontaneidad de la presencia de pinos, en la provincia de Huelva sería más acertado pensar que la mayoría de los pinares proceden de actividades de reforestación. Muchos de ellos ya se han naturalizado y ocupan, de forma permanente, el territorio donde fueron plantados, de manera que se establece una nueva estructura y dinámica que difiere manifiestamente de la de los alcornocales y encinares descritos. La especie más abundante de estos pinos es sin duda el piñonero (*P. pinea*). Existen enormes extensiones de esta especie que conforman el característico paisaje de las costas de Huelva y Cádiz. Se identifican con facilidad por su copa redondeada y sus piñas brillantes y redondeadas. Son muy apreciados por su fruto, el piñón, que se recolecta en invierno. Al oeste de la ciudad de Huelva, aparecen amplias zonas de pino piñonero en tres núcleos: uno junto a Aljaraque y dos al norte de Cartaya. Hacia el este de Huelva, la presencia es casi continua en todos los territorios de Doñana y su entorno, incluso en los corrales del tren de dunas. Cuando el piño piñonero se ha naturalizado en las dunas estabilizadas del interior del sistema dunar, la Directiva de Hábitats lo considera como Hábitat de Interés Comunitario Prioritario con el código 2270 (*Dunas con bosques de *Pinus pinea*), lo que indica el valor ambiental que han cobrado las antiguas reforestaciones y su papel en la conservación de estos espacios. La presencia de pino piñonero es también frecuente en el resto de la provincia, sobre todo en el Andévalo y en la Sierra de Aracena, donde habitualmente está sometido a actividades silvícolas. El pino resinero (*P. pinaster*), menos abundante en la provincia de Huelva, tiene una copa irregular, de piramidal a redondeada o irregular. El tronco es rojizo oscuro y sus piñas, con apófisis puntiagudas, son algo más grandes que las de los otros pinos mediterráneos. Existen diversas plantaciones forestales de pino resinero en la provincia de Huelva, sobre todo en el norte en zonas serranas que no se dedicaron a dehesas o eucaliptares. Es un árbol de crecimiento rápido, pero de tronco curvado e irregular por lo que su madera no es de mucha calidad y se reserva para palés y cajas de embalaje. Además de este uso maderero, también era explotado para la obtención de trementina mediante el sangrado de su corteza. Por último, el pino carrasco (*P. halepensis*), un árbol poco robusto, de acículas verde claro, corteza pardo-cenicienta y piñas pequeñas, alargadas y ligeramente cónicas, que aparece de forma puntual en la provincia de Huelva. Es más característico del levante español, aunque existen varios núcleos en la provincia con una considerable extensión en los alrededores del antiguo poblado forestal El Mustio.

FIGURA 04-15

Mapas de distribución de los distintos pinos onubenses

A: *Pinus pinea.* **B:** *Pinus pinaster.* **C:** *Pinus halepensis.*



[2]
Bibliografía

Braun-Blanquet, J. (1979). "*Fitosociología*". 2ª ed. Traducción castellana. Ed. Blume. Madrid.

Cardelús, B. (1991). "*Enciclopedia de la naturaleza de España*". Tomo 4: Ríos y riberas. Debate. Madrid.

Costa Tenorio, M.; Morla Juaristi, C.; Sainz Ollero, H. (Eds.). (1997). "*Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*". Planeta. Barcelona.

DIRECTIVA DE HÁBITATS (1992). Directiva del Consejo 92/43/EEC de 21 de Mayo de 1992 sobre la conservación de los hábitats naturales y de la flora y fauna salvajes.

Domingo-Santos, J.M. (2010). "*El eucalipto y los suelos bajo clima mediterráneo*". Boletín del CIDEU 8-9: 15-30.

Lara, F.; Garilleti, R.; Calleja, J.A. (2004). *"La vegetación de ribera de la mitad norte española"*. Madrid: CEDEX.

López Albacete, I. (2009). "*Vegetación del manto eólico de Doñana*". Tesis Doctoral. Universidad de Huelva.

López Tirado, J.; Núñez Álvarez, A.; Carmona Ruiz, M.I.; Hidalgo Fernández, P.J. (2016). "*Sobre la presencia de Narcissus scaberulus Henriq. (Amaryllidaceae) en Andalucía Occidental (España)*". Flora Montiberica 63: 101-102.

López-González, G. (2004). "*Guía de los árboles y arbustos de la Península Ibérica y Baleares*". Mundi-Prensa. Madrid.

Martín, J.A.; Solla, A.; Venturas, M.; Collada, C.; Domínguez, J.; Miranda, E.; Fuentes, P.; Burón, M.; Iglesias, S.; Gil, L. (2015). *"Seven Ulmus minor clones tolerant to Ophiostoma novo-ulmi registered as forest reproductive material in Spain"*. Forest–Biogeosciences and Forestry 8: 172–180.

Melendo Luque, M. (1998). "*Cartografía y ordenación vegetal de Sierra Morena: Parque Natural de las Sierras de Cardeña y Montoro (Córdoba)".* Tesis Doctoral. Universidad de Jaén.

Muñoz, A.F.; Santa-Bárbara, C.; Vicent, C. (2008). "*Comunidades arbustivas seriales en el Andévalo y sierra de Aracena (Huelva; SO España)*". Lagascalia 28:21-71.

Olías Álvarez, M.; Donaire Romero, T.; Fernández Rodríguez, C, Mayoral Alfaro, E.; Morales González, J.A.; Alonso Chaves, F.M.; Ruiz De Almodóvar Sel, G. (Coords.). (2008). "*Geología de Huelva: lugares de interés geológico".* 2ª Ed. Huelva. Universidad de Huelva.

Pérez Chiscano, J.L. (1986). "*Nueva localidad para Erodium mouretii Pitard".* Studia Botanica 5: 213.

REDIAM (2020). Red de Información Ambiental de la Junta de Andalucía. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam. Último acceso: octubre 2018.

Rivas-Martínez, S.; Fernández-González, F.; Loidi, J.; Lousã M.; Penas, A. (2001). "*Syntaxonomical checklist of vascular plant communities of Spain and Portugal to association level*". Itinera Geobotanica14:5-341.

Salvo, E. (1982). "*Flora Pteridofílica de Andalucía".* Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.

Santa-Bárbara Carrascosa, C.; Valdés Castrillón, B. (2008). "*Guía de la flora y vegetación del Andévalo. Faja pirítica España-Portugal"*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

Terradas, J. (2001). "*Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes"*. Editorial Omega.

Valle, F. (Coord.). (2004). "*Datos botánicos aplicados a la gestión del medio natural andaluz II: Series de vegetación"*. Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.

WORLDWIDE BIOCLIMATIC CLASSIFICATION SYSTEM (2018). S. Rivas-Martinez & S. Rivas-Saenz, Phytosociological Research Center, Spain. http://www.globalbioclimatics.org Último acceso octubre 2018.

Zamora Rodríguez, R. Pugnaire De Iraola, F.I. (2001). "*Ecosistemas mediterráneos: análisis funcional".* Simposio Asociación Española de Ecología Terrestre y CSIC. Editorial Catillo y Edisart.



05

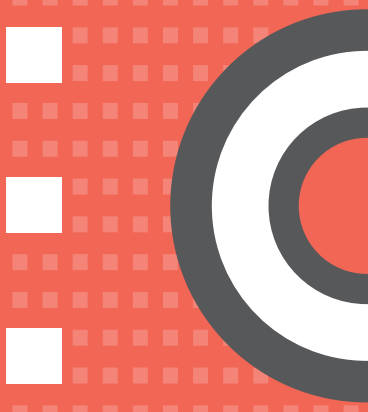
Hongos. Ecología y biodiversidad en ecosistemas litorales de Huelva

Francisco Javier Jiménez Nieva * || Francisco de Asís Sánchez González || Cristina Caetano Sánchez

Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España.

* Corresponding author | Dr. Francisco Javier Jiménez Nieva || jimenez@uhu.es

Tel.: +34 959 21 98 85 || Fax: +34 959 21 94 67



Hongos. Ecología y biodiversidad en ecosistemas litorales de Huelva

Francisco Javier Jiménez Nieva || Francisco de Asís Sánchez González || Cristina Caetano Sánchez

A la memoria de Tana,
fidelísima compañera de andanzas

RESUMEN

Los hongos son un grupo biológico muy diversificado y con gran importancia en el funcionamiento de los ecosistemas: descomposición de la materia orgánica, establecimiento de relaciones de tipo mutualista con la vegetación (micorrizas), hábitat necesario para la reproducción de muchos insectos, alimento para la fauna o incidencia, cada vez mayor, de los hongos parásitos en relación con la conservación del arbolado en el bosque mediterráneo, entre otros. Este capítulo se centra en la biodiversidad fúngica y su importancia en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres onubenses, aspecto que ha permanecido hasta la fecha sumido en una importante laguna de conocimiento, usando como ejemplo 70 especies diferentes de hongos (aunque se citan un total de 292 especies distribuidas por los diferentes órdenes y las principales familias de este reino), seleccionadas entre las más representativas y/o singulares de la comarca del litoral onubense.

PALABRAS CLAVE

Hongos, biodiversidad, fauna, interacciones, litoral

[1]
Introducción

El reino de los Hongos engloba un número muy elevado de especies que desempeñan múltiples funciones en los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres. A pesar de ello, estos seres vivos han sido objeto de una menor atención que plantas, animales o bacterias por parte de la ciencia, incluso en las ofertas académicas de las universidades. Tellería se refiere a ellos como "los grandes olvidados de la biodiversidad", y ello a pesar de su importancia vital para el funcionamiento de la Biosfera.

Los hongos fueron imprescindibles para la colonización de la vida terrestre fuera del agua. Hace entre 400 y 500 millones de años la asociación entre plantas y hongos posibilitó la colonización de la tierra emergida por parte de éstas y, consecuentemente, condicionaron la futura evolución de la vida en nuestro planeta. En la actualidad los hongos colonizan todos los hábitats terrestres, incluidos los fondos oceánicos y los desiertos antárticos.

Se estima que deben existir alrededor de un millón y medio de especies de hongos, aunque apenas conocemos unas cien mil (menos del 7 %). Para hacernos idea de su importancia en nuestro planeta, basta saber que en los ecosistemas terrestres de latitudes medias existen en torno a seis especies diferentes de hongos por cada especie vegetal, muchos de ellos con fructificaciones microscópicas e inmersas en el sustrato que habitan, por lo que pasan desapercibidos.

En este reino (*Fungi*) se incluyen organismos con formas de vida y estrategias reproductivas muy variadas, por lo que es fácil comprender la dificultad sistemática y las controversias taxonómicas que caracterizan este grupo. Evolutivamente se encuentran más próximos a los animales que a las plantas, compartiendo con nosotros un antecesor común: un organismo marino unicelular y flagelado, muy similar a los actuales Quitridios (*Phylum* Chytridiomycota). Actualmente se admite la existencia de 6 *Phyla* diferentes: **Chytridiomycota, Microsporidios, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota y Basidiomycota.**

El ámbito territorial de estudio de este trabajo son los ecosistemas terrestres del litoral onubense, fundamentalmente bosques de pinos, formaciones de matorral mediterráneo, plantaciones forestales de eucaliptos, dunas y praderas. Para entender la diversidad fúngica de la zona es importante considerar la presencia de muchos ejemplares de alcornoque (*Quercus suber*) y encina (*Quercus rotundifolia*) que, ya sea aislados o formando pequeños grupos de individuos, se distribuyen por el interior de los pinares como reliquias del bosque preexistente antes de la siembra masiva de pinos (*Pinus pinea*) en la comarca del litoral onubense.

La vegetación y algunos grupos faunísticos y microorganismos característicos de la provincia son objeto de estudio en otros capítulos de este libro. De forma general, se puede afirmar que, si excluimos las plantaciones forestales y los enclaves que no han sido transformados radicalmente por el urbanismo y la agricultura, la comarca del litoral onubense alberga ecosistemas que exhiben todavía niveles elevados de biodiversidad, aunque no se trate en muchas ocasiones de espacios naturales protegidos. Los suelos de la comarca son poco profundos, fundamentalmente de textura arenosa y, por tanto, con tendencia a la oligotrofia y con escasa capacidad para retener el agua, lo que acrecienta el estrés ambiental que impone el régimen climático mediterráneo.

Los hongos son, como se ha dicho más arriba, un grupo biológico muy diversificado, que interacciona de

forma directa con muchas otras especies (animales, vegetales y microorganismos): micorrizas con plantas, parasitismo de plantas o animales, predación de fauna, mutualismos con bacterias y animales, etc. Estas interacciones tienen además consecuencias esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas.

Es bien conocida su importancia por ser los principales responsables de la descomposición de la materia orgánica de origen vegetal, proceso clave en los ecosistemas ya que permite el reciclado de los nutrientes minerales. Además, sus hifas actúan como una red que cohesiona el humus y los restos orgánicos del suelo, dificultando la pérdida de materiales por arrastre del agua y el viento, contribuyendo de esta forma a la economía de minerales, evitando la erosión y mejorando la fertilidad del suelo. Por otro lado, la intermediación de los hongos micorrízicos favorece la nutrición y el abastecimiento de agua de los vegetales; la importancia de este aspecto es evidente si tenemos en consideración que tanto la disponibilidad de agua como la de nutrientes minerales son factores limitantes para el crecimiento de la vegetación en entornos mediterráneos. Debilitamiento y enfermedades vegetales, alimentación de la fauna (incluyendo invertebrados, aves y mamíferos), reproducción de artrópodos terrestres, son otros aspectos esenciales de los hongos relacionados con el funcionamiento de los ecosistemas terrestres.

Pero toda esta biodiversidad fúngica, y con ella las importantes implicaciones de este grupo biológico en relación con el funcionamiento de los ecosistemas locales, se encuentran actualmente sometidas a importantes amenazas. Por una parte, el proceso de cambio climático acelerado que está sufriendo nuestro planeta, que tiene como consecuencias principales en nuestro entorno temperaturas más extremas y un régimen de precipitaciones más torrencial, con periodos prolongados de sequía cada vez más frecuentes y persistentes, sin duda debe tener consecuencias en la comunidades de hongos de nuestros campos (aspecto poco estudiado todavía), aunque las apreciaciones preliminares apuntan, como en muchos otros grupos biológicos, hacia una disminución de la abundancia y la extinción local de algunas especies de hongos. Otro hecho que afecta gravemente a la biodiversidad fúngica de la comarca litoral onubense tiene que ver con las prácticas silvícolas que se llevan a cabo fundamentalmente en los pinares, consistentes en el aclarado del arbolado, aspecto que si se ejecutase de forma adecuada redundaría en un beneficio neto para la biodiversidad local, pero la realidad es que se están realizando, además, desbroces masivos del matorral mediterráneo asociado al sotobosque (mirtos, lentiscos, coscojas, sabinas, brezos, etc.) que habita las zonas topográficas más deprimidas y húmedas, y constituyen el hábitat de muchos de los hongos más interesantes, por su rareza, de esta comarca. Por último, aunque todavía no existe en la zona la presión sobre las setas comestibles que se da en otras comarcas como la Sierra de Huelva, ya empieza a notarse una excesiva proliferación de personas que las recolectan para su consumo, muchas veces de una forma insostenible para la conservación de las especies más apreciadas.

En este capítulo solo se incluyen hongos con fructificaciones macroscópicas (carpóforos o setas) pertenecientes a los dos *Phyla* mejor conocidos: Ascomycetes y Basidiomycetes. Las especies seleccionadas constituyen únicamente una pequeña muestra de la diversidad fúngica de la comarca litoral onubense, habiendo sido elegidas por su abundancia y relevancia en relación con el funcionamiento de los ecosistemas que habitan, aunque también se incluyen otras especies que son muy raras y/o se encuentran protegidas. La información se expone siguiendo un orden sistemático, realizando un recorrido por los principales órdenes y familias de hongos, seleccionando en cada uno algunas especies según los criterios de abundancia, rareza o importancia funcional referidos anteriormente.



La información incluida para cada especie se organiza en cuatro apartados diferentes:

USOS Y RIESGOS | Donde se expone el carácter comestible o tóxico, así como las propiedades medicinales u otros posibles usos de los que es susceptible la especie en cuestión.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | En el que se alude a la fenología, hábitats donde aparece y abundancia en la zona. Asimismo, se exponen algunos aspectos relacionados con los procesos ecológicos más relevantes que son influidos por su actividad.

ESPECIES EMPARENTADAS | Se incluyen las principales especies del mismo género o, en algunos casos, la misma familia que hemos encontrado en la comarca del litoral onubense.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Que recoge información sobre relaciones con otras especies de la flora y la fauna. Los resultados que se refieren a la artropofauna terrestre encontrada en las setas proceden de los Trabajos de Fin de Grado en Ciencias Ambientales de Francisco de Asís Sánchez González y Cristina Caetano Sánchez, bajo la dirección de F. Javier Jiménez Nieva.

ASCOMYCETES

ORDEN PEZIZALES | *ASCOMYCETES*

Otidea umbrina (Pers.) Bres. (PEZIZACEAE) [LÁMINA 05-1.A]

USOS Y RIESGOS | Especie comestible pero poco apreciada.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es común bajo los alcornoques aislados en el interior del pinar, fructificando desde otoño hasta primavera. Especie saprotrofa asociada en el pinar al humus de los alcornoques.

Estas especies con forma de copa habitantes del sotobosque, donde la incidencia del viento es muy escasa, y por tanto la dispersión de las esporas se ve dificultada, disponen de un mecanismo para facilitar este proceso consistente en la liberación de agua hacia el exterior de las setas, con lo que se consigue bajar la temperatura en el interior del recipiente, generando corrientes de aire de convección que impulsan la dispersión de las esporas.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Otidea buforia* es otra especie similar no rara en la zona, pero que se desarrolla bajo pinos. A esta misma familia pertenecen *Peziza varia* y *Peziza badioconfusa* (en pinares), *Peziza atrospora* y *Peziza badia* (en zonas quemadas) [LÁMINA 05-1.B], *Peziza vesiculosa* (sobre excrementos), *Peziza cerea* (en zonas abiertas o ambientes fuertemente antropizados, creciendo incluso sobre escombros y restos de yeso), *Peziza ammophila* (en dunas costeras) y *Peziza limnaea* (en zonas húmedas umbrías), entre otras.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Es habitual ver en este grupo de especies ejemplares con evidencias de haber sufrido predación por moluscos. En sus carpóforos proliferan colémbolos, y son usados habitualmente como guaridas por arañas de la familia Corinnidae.

ORDEN PEZIZALES | *ASCOMYCETES*

Aleuria aurantia (Fr.) Fuck. (HUMARIACEAE) [LÁMINA 05-1.C]

USOS Y RIESGOS | Sus llamativas setas de color naranja son comestibles.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Habita en zonas nitrificadas, sobre tierra removida, márgenes de caminos, taludes etc. La podemos encontrar en el litoral de Huelva desde otoño hasta primavera, siempre que la humedad sea elevada, aunque es rara en la zona. Se trata de una especie descomponedora asociada a ambientes degradados y, muchas veces, contaminados con residuos químicos procedentes de la actividad agrícola, por lo que no suele ser recomendable su recolección para consumo.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Tricharia fib*rillosa es una especie parecida también presente en la zona, pero de menor tamaño y con el borde recubierto de fibrillas. Existen muchas otras especies de esta familia en la comarca, de tamaño pequeño con forma y color parecidos, que son poco frecuentes y de difícil identificación: *Scutellinia scutellata, Inermisia fusispora, Anthracobia maurilabra* [LÁMINA 05-1.D]), *Neotiella sp.*, *Octospora sp.,* etc.)

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Es normal que estas setas presenten indicios de predación por pequeños mamíferos y cabras domésticas.

ORDEN PEZIZALES | *ASCOMYCETES*

Humaria hemisphaerica (Wigg.: Fr.) Fuck (HUMARIACEAE) [LÁMINA 05-1.E]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie cupuliforme de aparición esporádica en el sotobosque del pinar durante otoños e inviernos húmedos. Su nutrición en saprotrofa, encontrándose asociada al humus o a restos de madera en descomposición enterrados en el suelo.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Geopora arenícola* es una especie muy parecida de la misma familia que comparte hábitat en los pinares litorales con *Humaria*. *Plectaria melastoma* (Sarcoscyphaceae) es de aspecto parecido también muy rara.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | La presencia de pelos en el borde de los carpóforos de *H. hemisphaerica* (y otras como *S. scutellata*) se ha interpretado como un sistema de protección a modo de barrera que las protege del ataque de pequeños insectos micófagos. No obstante, es común encontrar colémbolos (Poduromorpha) de la familia Hypogastruridae en las setas de estos pequeños ascomicetos.

ORDEN PEZIZALES | *ASCOMYCETES*

Helvella lacunosa Afz.: Fr. (HELVELLACEAE) **[LÁMINA 05-1.F]**

USOS Y RIESGOS | Es una especie comestible apreciada, pero que es preciso hervir de forma prolongada y eliminar el agua antes de su consumo ya que contiene hemolisinas termolábiles.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Sus setas son frecuentes en años húmedos, apareciendo desde otoño hasta primavera, normalmente en zonas abiertas del bosque y bordes de caminos. Es una micorriza de amplio espectro que puede asociarse a coníferas, árboles planifolios o arbustos.
ESPECIES EMPARENTADAS | *Helvella leucopus* es una rara especie, de ocurrencia ocasional, que crece sobre árboles ribereños de la comarca litoral.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No suele sufrir ataque de micófagos, pero sí hemos encontrado colémbolos (Poduromorpha) en algunos ejemplares recolectados en los pinares.

ORDEN PEZIZALES | *ASCOMYCETES*

Pyronema domesticum (Sowerby.:Fr.) Sacc. (ASCOBOLACEAE) **[LÁMINA 05-1.G]**

USOS Y RIESGOS | Sus pequeños carpóforos rojos carecen de interés culinario.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es un hongo saprotrofo que aparece rápidamente sobre las cenizas y la madera quemada de los bosques incendiados donde llegan a ocupar superficies de varios metros cuadrados. Su crecimiento se ve inhibido por la presencia de otros organismos habitantes del suelo, de ahí que sea un colonizador primario de zonas quemadas.
ESPECIES EMPARENTADAS | *Ascobolus furfuraceus* es una especie parecida de la misma familia, frecuente sobre excrementos de ganado vacuno y caballar.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Únicamente hemos detectado colémbolos (Poduromorpha) como habitantes habituales de los carpóforos de esta especie.

ORDEN SPHAERIALES | *ASCOMYCETES*

Hypoxylon mediterraneum (De Not.) J.H. Mill. (SPHAERIACEAE) **[LÁMINA 05-1.H]**

USOS Y RIESGOS | Sus fructificaciones en forma de costra negra carecen de interés culinario.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Su presencia, con aspecto de madera quemada, es común en cualquier época del año bajo el corcho de ramas muertas de alcornoque. Es una especie descomponedora de la madera, típicamente mediterránea, cuyos carpóforos se encuentran parcialmente inmersos en la madera de la que se alimentan, con lo que se consigue evitar daños en la formación de las esporas provocados por las elevadas temperaturas y la sequedad ambiental propias del clima mediterráneo.
Pertenece a un grupo de especies que funcionan como hongos endófitos de los árboles cuando éstos están sanos (en una relación de beneficio mutuo), y que sólo pasan a convertirse en xilófagos cuando comienza el deterioro de los árboles en la fase final de su vida.
ESPECIES EMPARENTADAS | Llamas y Terrón citan la presencia de *Hypoxylon rubiginosum* en el Parque Nacional de Doñana creciendo sobre madera muerta de planifolios.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos detectado indicios de predación en esta especie, ni artropofauna asociada en los ejemplares estudiados.

ORDEN SPHAERIALES | *ASCOMYCETES*

Peckiella lateritia (Fr.) Mre. (NECTRIACEAE) [LÁMINA 05-1.I]

USOS Y RIESGOS | A pesar de su aspecto de costra blanca que cubre el himenio de los níscalos, es considerado un excelente comestible que mejora la textura de estas setas.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Crece desde final de otoño y en invierno, apareciendo año tras año de forma reiterada en localidades concretas, estando ausente en buena parte del territorio ocupado por el pinar (distribución en agregados). Es una especie que parasita otros hongos (normalmente *Lactarius deliciosus*, pero también *Lactarius sanguifluus* y *Lactarius semisanguifluus*), imposibilitando el desarrollo de las láminas de sus huéspedes que, de esta forma, pierden su capacidad reproductora mediante esporas.

ESPECIES EMPARENTADAS | ***Hypomyces chrysospermus*** [LÁMINA 05-1.J] es una especie parásita de setas de la familia Boletaceae también muy común en la zona.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Los níscalos parasitados por este hongo no son invadidos por las larvas micófagas, que frecuentemente afectan a los ejemplares no parasitados.

ORDEN HELOTIALES | *ASCOMYCETES*

Trichoglossum hirsutum (Pers.:Fr.) Gill. (GEOGLOSSACEAE) [LÁMINA 05-1.K]

USOS Y RIESGOS | Sus setas (minúsculas mazas vellosas negras) carecen de interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie bastante rara que aparece durante el otoño y comienzos del invierno en herbazales húmedos, habitualmente en las cercanías de las lagunas. Cuando aparece, en las escasas localidades en las que se desarrolla, lo hace con fructificaciones muy abundantes integradas por decenas de individuos en pocos metros cuadrados. Es un hongo saprotrofo que se nutre de la materia orgánica del suelo.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos encontrado ejemplares con evidencias de predación ni entomofauna asociada a estas setas.

PHRAGMOBASIDIOMYCETES

ORDEN AURICULARIALES | *PHRAGMOBASIDIOMYCETES*

Auricularia auricula-judae (Bull.: St. Amans) Wettst. (AURICULARIACEAE) [LÁMINA 05-2.A]

USOS Y RIESGOS | Sus setas son comestibles, incluso en crudo, y muy apreciados por la cocina oriental. Tienen múltiples propiedades medicinales: Analgésico, hemostático, antiinflamatorio y estimulante de la circulación sanguínea.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Aunque no es muy abundante, es la especie más común de este grupo en la zona, donde se desarrolla sobre ramas muertas de alcornoques y otros planifolios, aunque también puede crecer sobre madera muerta de coníferas. Funciona como parásita y como saprotrofa. Sus esporas pueden infectar árboles y arbustos vivos, penetrando a través de las heridas, iniciándose una infección (en este estado el hongo funcionaría como parásito), para posteriormente, una vez que la planta o la rama infectada muere, pasar a funcionar como un organismo descomponedor.

Una característica interesante de estos hongos (que comparte con otros Phragmobasidiomycetes) es que presentan los basidios inmersos profundamente en sus carpóforos gelatinosos, lo que les confiere un elevado grado de resistencia frente a la sequía, un factor limitante clave en el monte mediterráneo.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Aunque no es frecuente, a veces aparecen ejemplares mordisqueados por pequeños mamíferos.

ORDEN TREMELLALES | *PHRAGMOBASIDIOMYCETES*

Tremella mesenterica Retz.: Fr. (TREMELLACEAE) [LÁMINA 05-2.B]

USOS Y RIESGOS | Es usada en la cocina oriental, aunque no es considerada comestible en nuestro territorio por su consistencia gelatinosa. Tiene propiedades expectorantes, antiasmáticas y antidiabéticas.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie parásita de hongos del género *Peniophora*, poco abundante, que suele aparecer en los periodos húmedos sobre ramas muertas de arbustos en las zonas más húmedas (riberas y fondos de valle umbríos) de los bosques y plantaciones forestales de la comarca.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Exidia saccharina* (en madera de pino), *Exidia glandulosa* y *Exidia nucleata* (sobre ramas caídas de alcornoque) son dos especies parecidas también presentes en ecosistemas arbolados del litoral, igualmente poco abundantes en la zona.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Esta especie, al igual que *E. glandulosa*, es consumida frecuentemente como alimento por diplópodos de nuestros bosques.

ORDEN DACRYMYCETALES | *PHRAGMOBASIDIOMYCETES*

Dacrymyces stillatus Nées:Fr. (DACRYMYCETACEAE) [LÁMINA 05-2.C]

USOS Y RIESGOS | Carece de interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Esta especie es relativamente común en los periodos más húmedos del otoño e invierno, actuando como descomponedora de ramas de pino caídas en el suelo, aunque pasa fácilmente desapercibida debido a su pequeño tamaño y su hábitat.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Calocera cornea* es otra especie de la familia, muy rara en la zona, que coloniza madera muerta de planifolios.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos detectado en ninguna ocasión indicios de predación ni artropofauna asociada a estas especies.

APHYLLOPHOROMYCETES

ORDEN CANTHARELLALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Cantharellus lutescens Fr. (CANTHARELLACEAE) [LÁMINA 05-3.A]

USOS Y RIESGOS | Especie comestible muy apreciada, aunque no debería recolectarse debido a su escasez.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una ectomicorriza fundamentalmente de coníferas, que también puede establecer relaciones con árboles y arbustos planifolios. Aparece en otoños húmedos, mostrando un comportamiento muy vecero; aunque cuando fructifica no es rara en las localidades donde habita, siempre en zonas abrigadas bajo matorral maduro mediterráneo (mirtos y lentiscos).
ESPECIES EMPARENTADAS | *Cantharelus subpruinosus*, es otro excelente comestible que podemos encontrar en el pinar, aunque es igualmente muy raro en la comarca.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Apenas sufre predación por los artrópodos del monte mediterráneo; y tampoco hemos observado indicios de consumo por moluscos o vertebrados.

ORDEN THELEPHORALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Thelephora terrestris Fr. (THELEPHORACEAE) [LÁMINA 05-3.B]

USOS Y RIESGOS | Sus setas carecen de valor culinario.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie bastante común en los pinares litorales onubenses que aparece desde otoño hasta primavera. Se trata de otra ectomicorriza de los pinos, aunque también puede establecer relaciones mutualistas con árboles y arbustos planifolios. Sus fructificaciones aparecen a menudo muy próximas a los troncos de los árboles con los que se conecta, e incluso junto a tocones, lo que nos puede llevar a confundirla con una especie descomponedora de madera.
ESPECIES EMPARENTADAS | *Thelephora caryophyllea*, es una especie muy parecida morfológicamente con la que comparte hábitat.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos detectado la presencia de artropofauna asociada a esta especie, ni cualquier indicio de predación en sus carpóforos.

ORDEN THELEPHORALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Hydnellum ferrugineum (Fr.:Fr.) P. Karst. (BANKERACEAE) [LÁMINA 05-3.C]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario debido a la consistencia suberosa de su carne.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie poco común que funciona como micorriza de los pinos. Aparece en otoño e invierno entre las acículas caídas en el suelo del pinar, que muchas veces quedan envueltas en el tejido fúngico durante su crecimiento.
Es muy característico de esta especie que cuando el tiempo es muy húmedo sus carpóforos exudan un llamativo líquido de color rojo sangre. Este comportamiento se interpreta como un sistema para evacuar el exceso de agua del suelo, con lo que se consigue aliviar las condiciones ambientales en las que habita el micelio vegetativo del hongo.
ESPECIES EMPARENTADAS | *Hydnellum concrescens* es una especie parecida, aunque no exuda líquido rojo, que puede formar espectaculares fructificaciones que llegan a cubrir varios metros cuadrados de suelo en el sotobosque de estos pinares. ***Phellodon niger*** [LÁMINA 05-3.D], de esta misma familia, es una especie rara en la zona, muy característica por su color azul oscuro, casi negro. *Sarcodon glaucopus* es otra especie próxima que no es rara en los pinares.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos detectado la presencia de artropofauna asociada a esta especie, ni indicios de predación. Sin embargo, sí hemos observado evidencias de predación por moluscos.

ORDEN CLAVARIALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Clavulina cristata (Holsk.: Fr.) Schroet. (CLAVULINACEAE) [LÁMINA 05-3.E]

USOS Y RIESGOS | Sus pequeñas setas con forma de corales blancos no son comestibles.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie común que crece en otoño e invierno en los pinares. Cuando las condiciones de humedad y temperatura son favorables se manifiesta con importantes fructificaciones integradas por decenas de carpóforos que ocupan varios metros de superficie sobre el humus acumulado bajo la cubierta arbustiva de cistáceas. Se comporta como una especie descomponedora.

Las especies de este grupo de hongos presentan el himenio muy expuesto a la sequedad ambiental y los insectos predadores, por lo que su capacidad de producir esporas se encuentra bastante dificultada, lo que dificulta la reproducción y dispersión de esta especie.

ESPECIES EMPARENTADAS | Otras especies del género también presentes en estos pinares, aunque menos comunes, son *Clavulina cinérea* y *Clavulina rugosa*. *Clavaria vermicularis* y *Clavaria acuta* son dos especies próximas de zonas abiertas con humedad elevada, aunque son bastante raras en la comarca.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Hemos encontrado ejemplares de *C. cristata* parasitados por el hongo *Helminthosphaeria clavariarum*, lo que les confiere una coloración gris violácea que puede llegar a dar confusión con *C. cinerea*.

Los carpóforos de *Clavulina* suelen albergar dípteros de la familia Sciaridae.

ORDEN STERALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Stereum hirsutum (Willd.: Fr.) Gray (STERACEAE)) [LÁMINA 05-3.F]

USOS Y RIESGOS | No es comestible, aunque tiene propiedades antioxidantes.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie saprotrofa que podemos encontrar durante todo el año de forma habitual sobre madera muerta de árboles y arbustos planifolios.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Stereum reflexulum* (común sobre arbustos mediterráneos) y *Stereum gausapatum* (especie poco abundante que vive sobre madera de encina) son otras especies muy parecidas que habitan en los bosques y formaciones arbustivas.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Los carpóforos de esta especie sirven de refugio y campeo a arácnidos de la familia Oonopidae; también hemos capturado en muestras invernales dípteros de la familia Culicidae.

ORDEN GANODERMATALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Ganoderma resinaceum Boud. (GANODERMATACEAE) [LÁMINA 05-3.G]

USOS Y RIESGOS | No es comestible, aunque diferentes especies de este género tienen valor medicinal; en el caso concreto de *G. resinaceum* se ha demostrado su utilidad como antibiótico, antiviral, antirreumático y antihistamínico.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie muy poco abundante en el litoral onubense, puede aparecer en cualquier época del año sobre troncos y tocones de planifolios, incluso en zonas ajardinadas de ambientes urbanos. Es una especie parásita de frondosas que empieza infectando árboles enfermos o debilitados, y termina ocasionando una pudrición parda de la madera.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Ganoderma lucidum*, mucho más rara en la comarca, crece preferentemente en la base de troncos y tocones de encinas y alcornoques.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Las setas de las especies de este género acumulan sustancias antibióticas y son poco atacadas por los insectos micófagos, por lo que están siendo estudiadas por la posible utilidad que pudieran tener los compuestos químicos que acumula como método de control biológico de plagas.

ORDEN HYMENOCHAETALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Coltricia perennis (L.:Fr.) Murrill (HYMENOCHAETACEAE) [LÁMINA 05-3.H]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario, pero con propiedades antihemorroidales.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie muy escasa y de aparición ocasional en los pinares, aunque sus setas son muy persistentes y pueden observarse durante casi todo el año. Es una ectomicorriza que también puede nutrirse de madera muerta tanto de coníferas como de planifolios.

ESPECIES EMPARENTADAS | Es fácilmente confundible con *Onnia tomentosa* (parásita y descomponedora de madera de pino). *Hymenochaete rubiginosa* es otra especie de la familia que no es rara creciendo sobre madera de mirtos y lentiscos del sotobosque.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En esta especie hemos capturado arañas de la familia Dictynidae, pero no hemos detectado la presencia o evidencias de consumo de estas setas por parte de insectos, moluscos o vertebrados.

ORDEN HYMENOCHAETALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Phellinus torulosus (Pers.) Boud. et Gaiz. (HYMENOCHAETACEAE) [LÁMINA 05-3.I]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario. Se puede utilizar como yesquero.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Muy frecuente en el litoral onubense donde es común observarla parasitando ejemplares de lentisco y mirto en cualquier época del año; también es habitual en plantaciones forestales creciendo sobre madera de eucalipto. Pertenece a un grupo funcional de hongos que inicialmente son parásitos de plantas leñosas (en el caso de *P. torulosus* a menudo conectada a las raíces de sus hospedadores) que, una vez han muerto los tejidos vegetales, se convierten en descomponedores de la madera.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Phellinus pini* (en tocones de pino) y *Phellinus punctatus* (en madera de planifolios) son otras especies del género, aunque muy raras en la comarca. *Inonotus hispidus* (en planifolios) e *Inonotus tamaricis* son otros taxones de esta familia poco frecuentes en el litoral onubense.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Estas setas pueden permanecer durante años en el campo sin ser atacadas por predadores ni descomponerse, debido a que contienen diferentes sustancias antibióticas, similarmente a lo que ocurre con especies de los géneros *Fomes*, *Fomitopsis* o *Ganoderma*, entre otras. Gracias a ello, sus carpóforos perennes pueden llegar a ser muy grandes, por encima de 50 cm de desarrollo vertical. Este hecho también favorece la aparición de algas y musgos que tapizan su parte superior (en un claro ejemplo de facilitación ecológica), contribuyendo de esta forma a incrementar la biodiversidad de los bosques y plantaciones forestales donde crecen.

ORDEN PORIALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Polyporus meridionalis (David) Jahn (POLYPORACEAE) [LÁMINA 05-3.J]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie común, que podemos encontrar desde el otoño a la primavera, en las formaciones de matorral y claros del bosque desarrollándose sobre ramas y madera caída de arbustos mediterráneos. Aunque es una especie descomponedora de madera muerta, es común observarla emergiendo en apariencia directamente desde el suelo, pero eso se debe a la presencia de madera enterrada a la que se encuentra adherida. Es una especie indicadora de la comunidad de hongos descomponedores del monte mediterráneo.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Polyporus arcularius* y *Polyporus brumalis* son otras especies parecidas que aparecen en los bosques y matorrales de la zona, aunque son menos frecuentes.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos encontrado artropofauna asociada a estas setas, ni evidencias de sufrir predación por parte de moluscos o vertebrados.

ORDEN PORIALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Perenniporia rosmarini David & Malecon (CORIOLACEAE) [LÁMINA 05-3.K]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie descomponedora de madera muerta de arbustos mediterráneos (principalmente de romero y mirto), relativamente común durante el otoño en los bosques y matorrales litorales onubenses. *P. rosmarini* es indicadora de la comunidad de hongos descomponedores del monte mediterráneo.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Oligoporus hibernicus*, de esta misma familia, es muy parecida y abundante sobre ramas de pino caídas.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Sus cuerpos fructíferos son bastante persistentes y, según hemos observado, no son atacados de forma evidente por fauna micófaga.

ORDEN PORIALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Phaeolus schweinitzii (Fr.) Pat. (CORIOLACEAE) [LÁMINA 05-3.L]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario. Aunque no hay consenso, algunos autores consideran que tiene efectos psicotrópicos.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie que se comporta como descomponedora y como parásita, funcionando como un patógeno muy agresivo en bosques y plantaciones de coníferas. Es uno de los hongos descomponedores de madera de pino más abundantes, apareciendo desde otoño hasta primavera siempre sobre tocones o, si el pino está vivo, en la base del tronco.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Daedalea quercinea* (sobre madera de quercíneas y eucaliptos) y *Daedaleopsis confragosa* (sobre madera de árboles de ribera) son otras dos especies emparentadas, poco abundantes en la zona. ***Laetiporus sulphureus*** [LÁMINA 05-3.M] es otra especie de la familia de ecología similar a *P. Schweinitzii* pero sobre planifolios.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Sus cuerpos fructíferos crecen de forma muy rápida, por lo que resulta común ver como sus setas envuelven al pasto que se desarrolla en sus inmediaciones. También es importante su función como facilitadora de hábitats para otros grupos biológicos como algas, musgos e incluso ciertas herbáceas como la especie invasora *Oxalis pes-caprae*.

En muestras invernales de setas de esta especie hemos encontrado isópteros pertenecientes a la familia Rhinotermitidae.

ORDEN PORIALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Trichaptum fuscoviolaceum (Ehrenb.) Ryvarden (CORIOLACEAE) [LÁMINA 05-3.N]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Sus fructificaciones pueden aparecer durante todo el año, tratándose de una de las especies descomponedoras de madera muerta de pino más común en los pinares litorales, incluyendo madera quemada. A veces se producen fructificaciones espectaculares que llegan a cubrir con sus setas gran parte de los troncos colonizados.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Trichaptum abietinum* es otra especie muy parecida que comparte hábitat con *T. fuscoviolaceum*. *Trichaptum biforme* es también muy similar morfológicamente, aunque crece exclusivamente sobre alcornoques.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Se trata de otra especie facilitadora cuyos carpóforos aparecen cubiertos habitualmente por un tapete verde de algas, lo que supone un claro ejemplo de facilitación, ya que posibilitan la presencia de estas algas en los pinares.

Los carpóforos de *T. fuscoviolaceum* albergan una interesante artropofauna donde hemos identificado isópteros (Kalotermitidae), diplópodos (Craspedosomatidae) y ácaros (Epicridae).

ORDEN PORIALES | *APHYLLOPHOROMYCETES*

Schizophyllum commune Fr. (SCHIZOPHYLLACEAE) [LÁMINA 05-3.Ñ]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario. Tiene propiedades antibióticas y también presenta actividad anticancerígena. A pesar de que en algunos países tropicales africanos se utiliza a modo de goma de mascar, es un hongo que puede generar peligrosas micosis en los sistemas respiratorio y nervioso de los humanos.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es muy común en la zona, apareciendo en cualquier época del año sobre diversos sustratos. Puede ser saprotrofo o parásito de cualquier tipo de madera. Hemos registrado su presencia sobre madera trabajada (bancos públicos), e incluso sobre huesos.

Es una especie bien adaptada a las condiciones de sequedad y temperaturas elevadas ya que, además de presentar carpóforos blancos y muy hirsutos en la parte superior, las aristas de sus láminas se encuentran divididas longitudinalmente, y éstas se recurvan hacia dentro en tiempo seco protegiendo el himenio y minimizando las pérdidas de agua.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos encontrado indicios de predación, ni capturado artropofauna en sus carpóforos.

GASTEROMYCETES

ORDEN LYCOPERDALES | *GASTEROMYCETES*

Lycoperdon perlatum Pers.:Pers. (LYCOPERDACEAE) [LÁMINA 05-4.A]

USOS Y RIESGOS | Comestible cuando joven. Sus carpóforos tienen propiedades hemostáticas y antisépticas.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Se trata de una especie cosmopolita muy común en los bosques, matorrales y plantaciones de eucaliptos del litoral, que podemos encontrar desde otoño hasta primavera. El género *Lycoperdon* incluye un grupo de especies saprotrofas normalmente asociadas al humus, conocidos coloquialmente como pedos de lobo, debido a su peculiar forma de liberar las esporas mediante una abertura apical irregular.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Lycoperdon umbrinum* (en pinares), *Lycoperdon molle* (en pinares y formaciones de matorral maduro mediterráneo) y *Lycoperdon equinatum* (asociada a alcornoques) son otras especies también presentes en la zona. *Vascellum pratense*, de la misma familia, es muy parecida y abundante en herbazales y lugares abiertos.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En el interior de *L. perlatum* hemos detectado ejemplares maduros de escarabajos pertenecientes a familia Carabidae y Endomychidae, así como colémbolos del orden Poduromorpha. Así mismo, es muy común observar setas con indicios de predación por parte de larvas de insecto y moluscos terrestres. Los carpóforos de *L. molle* son un hábitat característico de coleópteros de la familia Endomychidae.

ORDEN LYCOPERDALES | *GASTEROMYCETES*

Bovista aestivalis (Bonord.) Demoulin (LYCOPERDACEAE) [LÁMINA 05-4.B]

USOS Y RIESGOS | Es un comestible mediocre cuando la gleba es joven y permanece blanca.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie muy termófila que habita en lugares abiertos y gusta de sustratos arenosos, donde aparece desde otoño hasta primavera, aunque es poco abundante. Es un hongo saprotrofo asociado al suelo, que podemos observar en praderas, bordes de caminos, cortafuegos y zonas abiertas del bosque.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Bovista plumbea* es muy parecida y ocupa hábitats similares.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos encontrado artropofauna asociada a esta especie, aunque es común la presencia de indicios de haber sufrido predación por moluscos.

ORDEN LYCOPERDALES | *GASTEROMYCETES*

Calvatia cyathiformis (Bosc) Morgan (LYCOPERDACEAE) [LÁMINA 05-4.C]

USOS Y RIESGOS | Sus setas son comestibles cuando son jóvenes y la gleba es aún blanca, aunque son poco apreciadas.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie saprotrofa habitante de praderas, bordes de caminos y zonas abiertas del bosque, donde podemos observar sus características fructificaciones manchadas de violeta desde otoño hasta primavera. Las especies de este género se caracterizan porque el peridio se rompe en placas para facilitar la liberación de las esporas maduras.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Calvatia utriformis* (también en claros de bosque) y ocasionalmente *Calvatia excipuliformis* (en zonas con dosel arbóreo más cerrado) son otras especies presentes en la comarca litoral onubense, aunque mucho menos comunes.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos encontrado entomofauna asociada a los ejemplares de *C. cyathiformis*, aunque algunos ejemplares de *C. excipuliformis* albergaban arañas de la familia Filistatidae que utilizan los carpóforos maduros como zonas de campeo.

ORDEN LYCOPERDALES | *GASTEROMYCETES*

Geastrum fornicatum (Huds.: Pers.) Hooker (GEASTERACEAE) [LÁMINA 05-4.D]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | La hemos registrado únicamente durante el otoño en un pinar con matorral maduro de mirtos, lentiscos y sabinas del Paraje Natural Marismas del Odiel. Se trata, como las otras especies de este género, de un hongo saprotrofo asociado al sotobosque.

Sus carpóforos (semihipogeos cuando jóvenes) emergen del suelo en el momento de la maduración para facilitar la dispersión de las esporas, sosteniéndose sobre unos brazos en forma de estrella que, a diferencia de las otras especies del género, permanecen unidos a la capa de micelio con forma de copa que se encuentra en el suelo, lo que la hace inconfundible.

ESPECIES EMPARENTADAS | Otras especies del género más comunes también presentes en zonas boscosas del litoral onubense son *Geastrum fimbriatum*, *Geastrum pectinatum*, *Geastrum rufescens* y *Geastrum nanum*, todas ellas compartiendo el característico aspecto de estrella que presentan los cuerpos fructíferos de este género.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Especie muy rara, incluida en la *Lista roja Hispano- Lusa de especies amenazadas de hongos*.

No ha sido posible estudiar su artropofauna asociada. Los ejemplares recolectados no presentaban indicios de predación.

ORDEN LYCOPERDALES | *GASTEROMYCETES*

Myriostoma coliforme (With.: Pers.) Corda (GEASTERACEAE) [LÁMINA 05-4.E]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie descomponedora asociada al humus tanto de bosques como de zonas abiertas. La hemos encontrado en otoño e invierno creciendo en pequeños grupos (5 a 10 ejemplares) en sabinares con mirto y lentisco, pero también en zonas ajardinadas (como el Campus de El Carmen). Resulta llamativa su querencia por zonas ajardinadas, a pesar de tratarse de una especie bastante rara y a proteger. Es muy característico su sistema de dispersión de las esporas, totalmente diferente a cualquier otra especie de esta familia, consistente en un peridio multiperforado por diversos ostiolos, lo que les da estos carpóforos un aspecto de salero que la hacen inconfundible.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Es otra especie bastante rara incluida en la *Lista roja Hispano-Lusa de especies amenazadas de hongos*, encontrándose así mismo incluida en el listado de hongos a proteger propuesto por el *European Council for Conservation of Fungi*.

No ha sido posible estudiar su artropofauna asociada. No hemos encontrado indicios de actividad de fauna micófaga en estas setas.

ORDEN SCLERODERMATALES | *GASTEROMYCETES*

Scleroderma meridionale Demoulin & Malecon (SCLERODERMATACEAE) [LÁMINA 05-4.F]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie típicamente mediterránea que aparece desde el otoño hasta primavera. Habita en el interior de las masas boscosas, siendo bastante común en los pinares. El género *Scleroderma* incluye especies que son micorrízicas de diversos vegetales.

ESPECIES EMPARENTADAS | En la zona también aparecen *Scleroderma polyrhizum* (que a veces forma agrupaciones espectaculares de varios carpóforos muy grandes -más de 20 cm- en los bordes de caminos y márgenes de bosques), *Scleroderma verrucosum* (bajo alcornoques y en zonas abiertas del bosque) y, muy raramente, *Scleroderma cepa* (en claros de bosque).

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Las setas de estas especies permanecen durante meses sin descomponerse en el campo y, debido a su forma de recipiente, son utilizados como refugio de moluscos y arañas, que también las usan como zonas de campeo. Las setas de *S. meridionale* se encuentran entre las que albergan una mayor diversidad de invertebrados. En su interior hemos registrado hasta 4 familias de escarabajos diferentes (Staphylinidae, Nitidulidae, Leiodidae, Ptinidae), dípteros (Cecidomyiidae) y colémbolos (Poduromorpha). No es raro encontrar carpóforos de esta especie con evidencias de haber sufrido predación por moluscos.

ORDEN SCLERODERMATALES | *GASTEROMYCETES*

Astraeus hygrometricus (Pers.) Morgan (ASTERACEAE) [LÁMINA 05-4.G]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario, pero con propiedades hemostáticas, y útil en tratamientos de quemaduras y congelamientos.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una micorriza de un amplio espectro de leñosas. Se trata de una especie común y abundante cuyas fructificaciones pueden aparecer en cualquier época del año en bosques, claros y formaciones arbustivas.

El carácter higroscópico de sus esporocarpos con forma de estrella (parecidos a los de *Geastrum*), le permiten la apertura y cierre de los brazos de la estrella en función del grado de humedad, lo que les otorga la capacidad de desplazarse lateralmente por la superficie del suelo, y favorece el rodamiento (impulsadas por el viento o a favor de pendiente) cuando están secas y con los brazos cerrados, facilitando de esta forma el proceso de dispersión de sus esporas.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos encontrado artropofauna asociada a estas setas, ni indicios de predación por parte de la fauna.

ORDEN SCLERODERMATALES | *GASTEROMYCETES*

Pisolithus arhizus (Scop.: Pers.) Rausch. (PISOLITACEAE) [LÁMINA 05-4.H]

USOS Y RIESGOS | Especie comestible de joven, de sabor muy intenso, por lo que se puede usar para aromatizar guisos. También se ha usado para la producción de pigmentos utilizados en la industria textil. Tiene propiedades antialergénicas y para evitar rechazos en trasplantes.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es uno de los hongos más comunes del litoral onubense, apareciendo durante todo el año en bosques, matorrales, zonas degradadas, plantaciones forestales y bordes de caminos; es incluso capaz de habitar en zonas urbanizadas, llegando a travesar con sus fructificaciones las grietas en el asfalto, cemento o entre adoquines. Es una micorriza de diversas especies de árboles y arbustos. Ha sido usada en proyectos de restauración de zonas degradadas, normalmente inoculada en plantones de *Cistus ladanifer*, aprovechando su gran tolerancia a las temperaturas elevadas y a los suelos acidificados, lo que permite incrementar la tasa de supervivencia de las plantas micorrizadas y el éxito de la restauración.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En el interior de sus setas maduras hemos encontrado isópodos pertenecientes a la familia Oniscidae. Es muy común encontrar ejemplares de esta especie mordisqueados por moluscos.

ORDEN PHALLALES | *GASTEROMYCETES*

Phallus impudicus L.:Pers. (PHALLACEAE) [LÁMINA 05-4.I]

USOS Y RIESGOS | A pesar de su aspecto y olor desagradable cuando está madura, se trata de un hongo comestible cuando joven, con sabor a rábano. Contiene compuestos antirreumáticos y contra la epilepsia; algunos autores le atribuyen propiedades afrodisiacas.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie común que aparece en otoño e invierno en zonas boscosas o matorrales eutrofizados, donde actúa como descomponedora.
Se vale de su olor a cadáver para atraer insectos, que se concentran en grandes grupos sobre sus carpóforos maduros para alimentarse; cuando se retiran transportan a otros lugares las esporas que quedan adheridas a su cuerpo o que fueron ingeridas, ya que resisten el paso a través de su digestivo. Se trata de una relación de carácter mutualista entre hongo e insectos en la que ambas especies se ven beneficiadas.
ESPECIES EMPARENTADAS | *Phallus hadriani* es una especie muy parecida con la que comparte hábitat, pero mucho menos abundante en la comarca.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Como se ha dicho más arriba es muy común observar grandes concentraciones de insectos, fundamentalmente moscas y avispas, en torno a sus carpóforos. En nuestro caso hemos detectado hasta 4 familias diferentes de dípteros (incluyendo Muscidae y Sciaridae) y diferentes himenópteros de la familia Vespidae, junto con isópodos (Oniscidae).

ORDEN PHALLALES | *GASTEROMYCETES*

Clathrus ruber Mich.: Pers. (CLATHRACEAE) **[LÁMINA 05-4.J]**

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie común que puede aparecer en otoño e invierno en ambientes muy diversos (bosques, matorrales, plantaciones forestales, jardines, zonas degradadas, praderas o bordes de camino), pero siempre con mucha materia orgánica. Es otra descomponedora asociada a ambientes eutrofizados, por lo que no es extraño encontrarla en las proximidades de los merenderos distribuidos por el pinar.
La estrategia de dispersión de las esporas de esta especie es similar a la descrita para *Phallus*.
ESPECIES EMPARENTADAS | *Colus hirudinosus* es otra especie semejante de ecología parecida, aunque mucho menos abundante.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En sus carpóforos maduros hemos encontrado dípteros (Muscidae, Calliphoridae y Lauxaniidae) y coleópteros (Staphylinidae).

ORDEN TULOSTOMATALES | *GASTEROMYCETES*

Tulostoma fimbriatum Fr. (TULOSTOMATACEAE) **[LÁMINA 05-4.K]**

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es poco común, aunque en algunas localidades del Paraje Natural Marismas del Odiel hemos observado fructificaciones abundantes. Es una especie descomponedora que prefiere las zonas abiertas y suelos arenosos.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos encontrado indicios de predación ni artropofauna asociada a sus carpóforos.

ORDEN HYMENOGASTERALES | *GASTEROMYCETES*

Rhizopogon luteolus Fr. et Nordh. (RHIZOPOGONACEAE) **[LÁMINA 05-4.L]**

USOS Y RIESGOS | Sus carpóforos son comestibles cuando jóvenes, aunque poco apreciados.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una micorriza de pinos, muy abundante en el pinar desde otoño hasta primavera. Estos hongos presentan fructificaciones semihipogeas, en forma de pequeña patata de color amarillento, que quedan expuestas en la superficie tras su maduración. Este hábito de los hongos mediterráneos que, como *Rhizopogon*, tienen cuerpos fructíferos de maduración subterránea se considera una adaptación a las condiciones de temperatura elevada, y alto riesgo de desecación, que puede prolongarse en ciertos ambientes mediterráneos hasta bien entrado el otoño. Gracias a esta estrategia los carpóforos maduran

dentro del suelo, en un ambiente más húmedo y fresco, y por tanto más favorable para el desarrollo de las esporas que en el exterior.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Rhizopogon roseolus* es una especie muy parecida pero que se tiñe de rosado al frotarla, que comparte los mismos hábitats.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Estas especies dependen del consumo de sus setas por parte de la fauna para la dispersión de sus esporas, utilizando su intenso aroma como mecanismo de atracción. Las esporas consumidas, fundamentalmente por moluscos y mamíferos, que son resistentes a los jugos digestivos serán posteriormente depositadas junto con los excrementos; por ello es común encontrar en los pinares onubenses ejemplares con indicios de predación por pequeños mamíferos, posiblemente conejos y roedores, aunque es probable que también sean consumidos por jabalíes y cabras.

Es habitual la presencia de ácaros (Uropodidae) habitando en los carpóforos maduros de *R. roseolus*.

ORDEN PODAXALES | *GASTEROMYCETES*

Torrendia pulchella Bres. (TORRENDIACEAE) [LÁMINA 05-4.M]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie típicamente mediterránea que fructifica durante el otoño e invierno. No es rara en la comarca litoral de Huelva, apareciendo en pinares y jarales. Es una micorriza de matorrales y arbolado diverso.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Se encuentra incluida en el listado de hongos a proteger propuesto por el *European Council for Conservation of Fungi*.

No hemos encontrado entomofauna asociada a sus carpóforos, pero sí evidencias de predación por pequeños mamíferos.

ORDEN PODAXALES | *GASTEROMYCETES*

Gyrophragmium dunalii (Fr.) Zeller (MONTAGNEACEAE) [LÁMINA 05-4.N]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Habita en las dunas litorales, apareciendo desde el otoño hasta primavera; en algunas localidades puede llegar a ser bastante abundante. Es una especie xerófila y saprotrofa, a pesar de vivir en un ambiente donde la materia orgánica es relativamente escasa.

Su micelio vegetativo se encuentra bastante enterrado en la arena de las dunas, una adaptación para evitar su exposición al exterior en un ambiente tan dinámico como son las dunas móviles, donde cualquier enclave puede estar sometido a rápidos procesos de enterramiento y retirada de arena. Por ello, sus setas suelen exhibir un largo pie que les permite disponer el sombrero por encima de la superficie del suelo.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Montagnea arenaria* es otra especie de esta familia, con el aspecto general de un *Coprinus*, poco común en la comarca, que podemos encontrar en zonas abiertas y cortafuegos.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No ha sido posible estudiar su artropofauna asociada.

AGARICOMYCETES

ORDEN AGARICALES | *AGARICOMYCETES*

Agaricus impudicus (Rea) Pilát (AGARICACEAE) [LÁMINA 05-5.A]

USOS Y RIESGOS | Es un buen comestible.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie habitual en el pinar durante el otoño e invierno, cuyas grandes setas crecen muchas veces bastante enterradas bajo una capa de acículas. Funciona como descomponedora de humus en estos bosques.

ESPECIES EMPARENTADAS | Otras especies comunes en el litoral onubense son: *Agaricus sylvicola* y *Agaricus heinemannianus* (en pinares); *Agaricus campestris*, *Agaricus arvensis* y *Agaricus litoralis* (en zonas abiertas y prados); además de *Agaricus bitorquis* y la especie tóxica *Agaricus xanthodermus* (en bordes de caminos y ambientes eutrofizados). ***Leucoagaricus leucothites*** [LÁMINA 05-5.B] y *Leucoagaricus melanotrichus* son otras especies de la familia con aspecto agaricoide no raras en la comarca.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Es frecuente encontrar larvas de dípteros e himenópteros adultos (Formicidae) en setas maduras de esta especie. *A. campestris* es otra especie que alberga una importante variedad de artropofauna destacando, además de una gran abundancia de larvas de dípteros, la presencia de ejemplares adultos de avispas (Ichneumonidae) y ácaros (Epicridae).

ORDEN AGARICALES | *AGARICOMYCETES*

Macrolepiota fuligineosquarrosa Malecon (AGARICACEAE) [LÁMINA 05-5.C]

USOS Y RIESGOS | Es comestible pero no tan apreciada como otras especies de este género.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie común de pequeño porte que fructifica, normalmente en grupos de varios ejemplares, durante el otoño e invierno en zonas abiertas de los pinares y bordes de caminos. Se trata de un género integrado únicamente por especies saprotrofas.

ESPECIES EMPARENTADAS | En la comarca aparecen varias especies: *Macrolepiota procera* (de gran tamaño y comestible muy apreciado), *Macrolepiota rhacodes*, *Macrolepiota excoriata, Macrolepiota phaeodisca* o *Macrolepiota mastoidea*, todas ellas comestibles. Merece mención especial *Macrolepiota venenata*, especie tóxica que provoca trastornos gastrointestinales, que crece en zonas nitrificadas y jardines.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En sus carpóforos hemos identificado dípteros adultos pertenecientes a dos familias diferentes (Sciaridae y ejemplares de otra familia no identificada), y diplópodos (Craspedosomatidae). Larvas de díptero alimentándose de las setas, avispas (Ichneumonidae) y ácaros (Epicridae) son habituales en otras especies del género.

ORDEN AGARICALES | *AGARICOMYCETES*

Coprinus atramentarius (Bull.:Fr.) Fr. (COPRINACEAE) [LÁMINA 05-5.D]

USOS Y RIESGOS | Es una especie comestible, pero que resulta tóxica si se consume alcohol desde poco antes hasta dos días después de ingeridas las setas, produciéndose un síndrome parecido al efecto “antabús” (taquicardia, vértigo, trastorno gastrointestinal, fiebre y enrojecimiento de la piel). A pesar de ello, tiene utilidad como antiinflamatorio, en tratamiento de úlceras, quemaduras y congelaciones.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es bastante común, apareciendo desde otoño hasta primavera formando ramilletes integrados por muchas setas, en diferentes ecosistemas (bosques, plantaciones forestales, bordes de caminos, jardines, etc.), con una clara preferencia por hábitats nitrificados y excrementos. Todas las especies de este género son saprotrofas, algunas exclusivas de excrementos de animales y estiércol, en este caso apareciendo en las fases finales de la descomposición de los excrementos.

Una peculiaridad de ésta y otras especies del género es que presentan sombrero y láminas delicuescentes (absorben la humedad ambiental y se licúan conforme van madurando), por lo que gran parte de las esporas no son transportadas por el viento, sino que son arrastradas hacia el suelo y permanecen en las proximidades de las setas en que se formaron, garantizándose de esta forma su persistencia en un hábitat favorable.

ESPECIES EMPARENTADAS | Existen numerosas especies de este género en el litoral onubense. Entre las más comunes destacan: ***Coprinus comatus*** (considerado un excelente comestible) [LÁMINA 05-5.E], *Coprinus picaceus, Coprinus auricomus, Coprinus niveus, Coprinus lagopus, Coprinus leiocephalus, Coprinus micaceus, Coprinus sterquilinus*, *Coprinus domesticus* y *Coprinus micaceus*.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Algunas de estas especies coprófagas inhiben la fructificación de otras especies de hongos, en un claro ejemplo de exclusión competitiva.

No hemos encontrado entomofauna asociada a ellas, aunque sí señales de predación por moluscos.

ORDEN AGARICALES | *AGARICOMYCETES*

Psathyrella pennata (Fr.) Sing. (COPRINACEAE) [LÁMINA 05-5.F]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Se trata de una especie pirófita, que no es rara encontrar en otoño e invierno en zonas quemadas y restos de hogueras, funcionando como descomponedora.

ESPECIES EMPARENTADAS | Aunque son poco abundantes, podemos encontrar diferentes especies en el litoral onubense como *Psathyrella ammophila* (en dunas), *Psathyrella hirta* (estiércol de caballo), *Psathyrella candolleana* y *Psathyrella piluliformis* (madera) o *Psathyrella spadiceogrisea* (humus).

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En las setas de esta especie abundan colémbolos adultos (Hypogastruridae) y ácaros de la familia Epicridae.

ORDEN AGARICALES | *AGARICOMYCETES*

Panaeolus sphinctrinus (Fr.) Quél. (COPRINACEAE) [LÁMINA 05-5.G]

USOS Y RIESGOS | Son setas tóxicas de las que se sospecha que tienen propiedades alucinógenas. Algunas especies de este género contienen psilocibina.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie común desde el otoño hasta primavera, que crece como descomponedora sobre excrementos de vaca y caballo en periodos húmedos.

ESPECIES EMPARENTADAS | Existen varias especies que habitan en el entorno geográfico que nos ocupa, todas ellas asociadas directamente a excrementos o zonas ricas en estiércol. Así, son relativamente comunes *Panaeolus antillarum*, *Panaeolus ater* o *Panaeolus rickenii*.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Únicamente hemos encontrado algunos ejemplares de arañas (Araneidos) en ejemplares de *P. ater*.

ORDEN AGARICALES | *AGARICOMYCETES*

Amanita rubescens (Pers.:Fr.) Gray (AMANITACEAE) [LÁMINA 05-5.H]

USOS Y RIESGOS | Se trata de una de las setas comestibles más apreciadas de la zona, aunque es muy venenosa y requiere de cocción prolongada previa a su consumo por contener hemolisinas termolábiles.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie bastante común en el litoral onubense que fructifica desde otoño hasta primavera, aunque suele pasar desapercibida por encontrarse habitualmente bastante enterrada en la cubierta de humus y hojarasca del suelo. *A. rubescens*, como muchas otras especies de este género, es una micorriza que establece relaciones mutualistas con múltiples especies vegetales. Debido a

su abundancia y diversidad, sobre todo en los pinares de la comarca, el género *Amanita* constituye un grupo de especies fundamental para la conservación de estos ecosistemas.

ESPECIES EMPARENTADAS | El conjunto de especies de este género que habita en el área de estudio es muy amplio, incluyendo algunas muy tóxicas como ***Amanita phalloides*** [LÁMINA 05-5.I], *Amanita verna, Amanita pantherina, Amanita muscaria* y *Amanita gemmata*. También podemos encontrar un amplio muestrario de especies comestibles, aunque de menor calidad que *A. rubescens*, como *Amanita vaginata* y *Amanita mairei* (también comestibles previa cocción), junto con *Amanita ponderosa*, *Amanita curtipes, Amanita strobiliformis* y *Amanita ovoidea*. Otras especies presentes sin interés culinario son *Amanita boudieri*, *Amanita citrina* y *Amanita porphyria*.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | La entomofauna asociada a este género es bastante diversa; en el caso de *A. rubescens* hemos encontrado coleópteros adultos (Nitidulidae y Staphylinidae), himenópteros (Formicidae) y colémbolos (Hypogastruridae). En esta especie son también muy comunes las larvas de díptero y coleóptero, sobre todo en la base del pie de sus carpóforos. Dentro del género también destaca por la diversidad de entomofauna que alberga *A. boudieri*, con presencia de coleópteros (Nitidulidae y Leiodidae) y ejemplares de tres familias diferentes de dípteros (Calliphoridae y dos más que no fue posible identificar). Es común la presencia en el campo de setas de este género, y muy especialmente de *A. muscaria*, con evidencias de predación por moluscos.

ORDEN CORTINARIALES | *AGARICOMYCETES*

Cortinarius trivialis Lge. (CORTINARIACEAE) [LÁMINA 05-5.J]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es común en otoño e invierno cerca de los alcornoques. Todos los *Cortinarius* de la zona son micorrizas del arbolado de los bosques.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Cortinarius orellanus*, que comparte el mismo hábitat aunque es mucho más rara, es otra de las setas venenosas mortales de la comarca. Otras especies de este género, también poco abundantes, son *Cortinarius saturninus*, *Cortinarius glandicolor* y *Cortinarius assiduus*.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En las setas de *C. trivialis* hemos capturado ejemplares adultos de dípteros (Sciaridae).

ORDEN CORTINARIALES | *AGARICOMYCETES*

Hebeloma cistophilum Mre. (CORTINARIACEAE) [LÁMINA 05-5.K]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es muy abundante en los jarales y pinares con sotobosque de jaras, apareciendo desde el otoño hasta primavera con fructificaciones habitualmente gregarias integradas por muchas setas. Esta especie establece micorrizas con las jaras.

Su gran abundancia en las formaciones arbustivas y sotobosque de los pinares sugiere que deben ser importantes para el funcionamiento de estos ecosistemas, debido a las importantes implicaciones que tiene esta relación mutualista para mantener una adecuada eficiencia en la absorción de agua y minerales por parte de las jaras en ambientes mediterráneos.

ESPECIES EMPARENTADAS | Otras especies del género también habitantes de estos pinares son *Hebeloma anthracophilum* (en zonas que fueron quemadas), *Hebeloma cylindrosporum*, *Hebeloma mesophaeum* y *Hebeloma crustiniforme*.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En sus carpóforos únicamente hemos encontrado larvas de díptero y ejemplares adultos de colémbolos (Hypogastruridae). En ejemplares de *H. cylindrosporum* pudimos identificar dípteros adultos pertenecientes a la familia Sciaridae.

ORDEN CORTINARIALES | *AGARICOMYCETES*

Inocybe geophylla (Fr.:Fr.) Kumm. (CORTINARIACEAE) **[LÁMINA 05-5.L]**

USOS Y RIESGOS | Es una especie tóxica que, como otras de este género, produce el síndrome muscarínico.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Son comunes en el pinar durante el otoño e invierno, donde además es habitual la presencia de la variedad *lilacina* que exhibe una coloración general violácea. Todas las especies de este género son micorrizas.
ESPECIES EMPARENTADAS | En el sotobosque del pinar también es habitual la presencia de *Inocybe rimosa, Inocybe curreyi*, *Inocybe nitidiuscula* y, más raramente, *Inocybe heimii* e *Inocybe asterospora*. Otras especies presentes en la comarca son *Inocybe lacera* (en bordes de caminos y claros del bosque), e *Inocybe arenicola* (en dunas litorales).
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | El grupo de artrópodos que utilizan sus setas de una u otra forma es bastante diverso, destacando larvas y adultos de dípteros (Sciaridae), diferentes colémbolos (Symphypleona y Poduromorpha), pseudoescorpiones (Neobisiidae) y ácaros.

ORDEN CORTINARIALES | *AGARICOMYCETES*

Psilocybe merdaria (Fr.) Rick. (STROPHARIACEAE) **[LÁMINA 05-5.M]**

USOS Y RIESGOS | Especie tóxica alucinógena por su contenido en psilocina y psilocibina.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Crece sobre excrementos, fundamentalmente de ganado vacuno y equino, aunque también puede aparecer sobre excrementos de oveja e incluso conejos. No es rara en años húmedos, pudiendo aparecer desde otoño hasta primavera. Todas las especies del género son coprófagas, asociadas a la descomposición de excrementos.
ESPECIES EMPARENTADAS | *Psilocybe merdicola* y *Psilocybe coprophila* (también sobre excrementos) y *Psilocybe crobula* (en restos vegetales) son otras especies presentes en la zona muy similares en su aspecto.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No es raro observar setas de estas especies mordisqueadas por moluscos y pequeños mamíferos, lo que nos hace preguntarnos acerca de los efectos de los tóxicos que acumula en el sistema nervioso de estos animales.

ORDEN CORTINARIALES | *AGARICOMYCETES*

Agrocybe aegerita (Brig.) Fayod (BOLBITIACEAE) **[LÁMINA 05-5.N]**

USOS Y RIESGOS | Excelente comestible.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Crece sobre tocones y troncos viejos de árboles ribereños (chopos, sauces, olmos, etc.), donde la podemos observar durante todo el año si las condiciones son apropiadas, con tendencia a cuartearse el sombrero cuando la temperatura es elevada y la humedad baja. No es frecuente en la zona de estudio, aunque puede aparecer también en zonas ajardinadas. Se trata de una especie saprotrofa, descomponedora de la madera muerta de los árboles sobre los que se asienta.
ESPECIES EMPARENTADAS | Otras especies del género que habitan en la comarca son *Agrocybe praecox* (común en ambientes ruderales y jardines) y *Agrocybe pediades* (en zonas abiertas).
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En sus carpóforos hemos detectado la presencia de dípteros de la familia Calliphoridae, aunque no suele sufrir el ataque de insectos micófagos.

ORDEN CORTINARIALES | *AGARICOMYCETES*

Gymnopilus spectabilis (Fr.) Sing. (CREPIDOTACEAE) **[LÁMINA 05-5.Ñ]**

USOS Y RIESGOS | Es una especie no comestible por su amargor y toxicidad. Tiene propiedades alucinógenas y psicotrópicas debido a que contiene psilocibina. La concentración de esta sustancia psicoactiva en sus setas parece ser que es muy variable dependiendo de la zona geográfica donde crezcan.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es bastante común en la comarca del litoral onubense, donde la podemos observar en cualquier época del año si las condiciones son apropiadas, creciendo en forma de espectaculares fructificaciones arracimadas sobre tocones y en la base de troncos viejos de pinos y eucaliptos. Es una especie saprotrofa, con una importante función como descomponedora de madera muerta de árboles que permanecen erguidos y tocones.

ESPECIES EMPARENTADAS | En los pinares es también muy frecuente *Gymnopilus penetrans* sobre madera muerta de pinos. La presencia de mucha madera muerta enterrada puede dar la falsa sensación de que se trata de una especie asociada al humus del suelo.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Sobre los carpóforos de esta especie es común encontrar dípteros pertenecientes a la familia Sciaridae.

ORDEN RUSSULALES | *AGARICOMYCETES*

Russula torulosa Bres. (RUSSULACEAE) [LÁMINA 05-6.A]

USOS Y RIESGOS | No está considerada como una especie comestible debido a su sabor picante, pero esta misma característica determina que algunas personas la utilicen en la cocina como sustitutivo de la pimienta.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es frecuente en otoño e invierno en los pinares. El género *Russula* está integrado por ectomicorrizas con un importante papel en la absorción de agua y nutrientes por parte de los árboles y arbustos con los que se conectan. La elevada diversidad de especies de este género, unido a la abundancia de algunas de ellas, sugiere la gran importancia que debe tener este grupo para el funcionamiento del pinar.

ESPECIES EMPARENTADAS | Son muchas las especies de *Russula* que podemos encontrar en el litoral onubense, casi todas asociadas a los pinares, pero muchas veces relacionándose también con las quercíneas que aparecen dispersas por estos bosques. Entre las principales están: Russula vinaceodora y Russula ammophila (protegidas en Andalucía), *Russula sardonia* (muy parecida y fácil de confundir con *R. torulosa*), *Russula acrifolia*, *Russula chloroides*, *Russula cicatricata*, *Russula cessans*, *Russula delica* y *Russula heterophylla. Russula monspeliensis* y *Russula cistoadelpha* son otras especies comunes en la zona, pero asociadas a las jaras por lo que no es raro encontrarlas en las formaciones de matorral no arbolado.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Es bastante común encontrar ejemplares de *R. sardonia*, y de prácticamente la totalidad de las especies de este género habitantes del litoral onubense, infectados de larvas de diferentes familias de dípteros, lo que nos hace pensar en la gran importancia que deben tener estos hongos para completar los ciclos vitales de distintas moscas del pinar, y por tanto para el sostén de la biodiversidad en estos ecosistemas. También forman parte de la artropofauna que usa las setas de esta especie como hábitat, coleópteros (Staphylinidae) y colémbolos (Entomobryomorpha). Otros artrópodos bien representados con ejemplares adultos en carpóforos de *Russula spp* son: Dípteros (Sciaridae), coleópteros (Carabidae), colémbolos (Hypogastruridae), diplópodos (Craspedosomatida), ácaros (Epicridae) e Isópodos (Oniscidae).

ORDEN RUSSULALES | *AGARICOMYCETES*

Lactarius deliciosus (L.:Fr.) Gray (RUSSULACEAE) [LÁMINA 05-6.B]

USOS Y RIESGOS | Considerada como un excelente comestible. Después de su consumo la orina se vuelve naranja oscura o rojiza, lo que no es más que un síntoma del buen funcionamiento de los riñones. También es una especie con propiedades antibióticas que puede paliar la tuberculosis.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una de las setas más características y abundantes de los pinares litorales onubenses, que podemos encontrar durante el otoño e inicio del invierno.

Dada la gran diversidad de especies, la abundancia de muchas de ellas puesta de manifiesto por unas fructificaciones que llegan a ser masivas en algunos casos, y la variedad de especies vegetales con las

que establecen relaciones de carácter micorrízico, los hongos del género *Lactarius* constituyen un grupo clave en el sostén de los ecosistemas litorales onubenses, fundamentalmente en los pinares.

ESPECIES EMPARENTADAS | El género *Lactarius* es uno de los mejor representados en esta comarca por la gran riqueza de especies que podemos encontrar; entre las más características se encuentran *Lactarius hepaticus*, *Lactarius semisanguifluus* y *Lactarius sanguifluus* (en pinares, las dos últimas buenos comestibles), *Lactarius chrysorrheus* y *Lactarius volemus* (bajo planiflolios), ***Lactarius rugatus*** (buen comestible asociado a las especies del sotobosque del pinar) [LÁMINA 05-6.C], *Lactarius atlanticus* (bajo *Quercus*), *Lactarius cistophilus* (en matorrales *Cistus*) o *Lactarius lacunarum* (en bordes de lagunas y zonas encharcadizas), entre otros.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | *L. deliciosus* es una especie importante para la alimentación de diversos vertebrados, según se puede constatar por la abundancia de setas en el campo con marcas de haber sufrido predación, principalmente por parte del ganado doméstico cabras y ovejas, pero también conejos y pequeños roedores. Sus carpóforos también sirven habitualmente de refugio a moluscos que encuentran protección bajo sus sombreros.

La entomofauna asociada a esta especie es también bastante diversa, destacando los dípteros en estado larvario que aparecen de forma masiva alimentándose de estas setas (que quedan de esta forma inutilizadas para consumo humano), pero que no alcanzan a comprometer la producción de esporas por parte del hongo; por ello, la presencia de estas setas en el campo se convierte en esencial para la reproducción de este grupo de insectos en los pinares. También hemos encontrado de forma habitual dípteros adultos (Sciaridae), ninfas y adultos de coleópteros (Staphylinidae y Leiodidae), colémbolos (Entomobryomorpha), ácaros e isópodos (Oniscidae).

L. atlanticus, especie asociada a los alcornoques de la comarca, se separa claramente por exhibir una comunidad de artrópodos bien diferenciada de las restantes especies, caracterizada por la presencia de dictiópteros (Blattoidea) y diplópodos (Julidae).

ORDEN TRICHOLOMATALES | *AGARICOMYCETES*

Tricholoma fracticum (Batsch) Kreisel (TRICHOLOMATACEAE) [LÁMINA 05-6.D]

USOS Y RIESGOS | No comestible debido a su sabor fuertemente amargo.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es común en los pinares durante el otoño e invierno, aunque a veces es difícil de detectar porque suele estar bastante enterrada en el manto de acículas que cubre el suelo. Las especies de este género detectadas en la comarca son todas ectomicorrizas que se asocian a la vegetación leñosa.

ESPECIES EMPARENTADAS | Otras especies presentes en el litoral onubense son *Tricholoma colossus*, *Tricoloma terreum* y *Tricholoma portentosum* (también bajo pinos, las dos últimas consideradas buenos comestibles), *Tricholoma scalpturatum* y *Tricholoma squarrulosum* (especies también comestibles que crecen bajo alcornoques) y *Tricholoma sulphureum* (asociada al sotobosque bien conservado de las zonas más húmedas del pinar), entre otras.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En las setas de *T. fracticum* hemos identificado diferentes taxones de coleópteros integrados en tres familias diferentes (Endomychidae, Leiodidae y Staphylinidae), junto con larvas y adultos de dípteros (Sciaridae). También son utilizadas habitualmente como zonas de campeo por arañas de la familia Linifidae.

ORDEN TRICHOLOMATALES | *AGARICOMYCETES*

Clitocybe gibba (Pers.: Fr.) Kumm. (TRICHOLOMATACEAE) [LÁMINA 05-6.E]

USOS Y RIESGOS | Es comestible de escasa calidad, aunque hay que extremar la precaución ya que algunas especies de este género son muy tóxicas. Tiene propiedades antipiréticas.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | No es frecuente en la zona, aunque puede aparecer en bosques, praderas e incluso zonas nitrificadas durante el otoño y comienzos de invierno. Todas las especies del género son saprotrofas, muy importantes por su abundancia en el reciclado de los nutrientes en los ecosistemas en los que se asientan.

ESPECIES EMPARENTADAS | En la comarca existen diferentes especies de este género, entre las que destacan *Clitocybe costata*, *Clitocybe metachroa* y *Clitocybe rhizophora* (en pinares), *Clitocybe font-queri* (en bosques y formaciones arbustivas), *Clitocybe cistophila* (en pinares con sotobosque de jaras), *Clitocybe diatreta*, *Clitocybe rivulosa* y ***Clitocybe geotropa*** (en prados y claros del bosque, esta última es considerada un buen comestible) [LÁMINA 05-6.F], y *Clitocybe leucodiatreta* (en dunas y suelos arenosos con vegetación escasa).

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Entre la entomofauna asociada a *C. gibba* destacan los dípteros, de los que hemos encontrado diferentes especies de larvas y adultos pertenecientes a las familias Limoniidae y Sciaridae; también son comunes colémbolos (Hypogastruridae) e isópodos (Oniscidae).

ORDEN TRICHOLOMATALES | *AGARICOMYCETES*

Laccaria laccata (Scop.: Fr.) Berk. & Br. (TRICHOLOMATACEAE) [LÁMINA 05-6.G]

USOS Y RIESGOS | Es una especie comestible pero poco apreciada.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es muy abundante en los pinares desde el otoño hasta primavera. Es un hongo que establece relaciones de tipo micorrízico con una amplia gama de vegetales incluyendo tanto pinos como planifolios, habiendo sido por ello utilizada para mejorar el éxito en reforestaciones. Las especies de este género pueden funcionar también de forma temporal como descomponedoras.

ESPECIES EMPARENTADAS | Otras especies que podemos encontrar en el litoral onubense, aunque menos frecuentes, son *Laccaria bicolor* (también en pinares), *Laccaria proxima* (matorral y pinares) y *Laccaria fraterna* (en zonas húmedas del bosque y eucaliptales).

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En sus setas hemos encontrado, además de larvas y adultos de dípteros integrados en la familia Sciaridae, ácaros de la familia Epicridae; pero lo más destacable de esta especie es la presencia en sus carpóforos de una gran diversidad de colémbolos (Poduromorpha y Symphypleona).

ORDEN TRICHOLOMATALES | *AGARICOMYCETES*

Lentinellus omphalodes (Fr.) Karst. (PLEUROTACEAE) [LÁMINA 05-6.H]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario por su sabor fuertemente picante.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Presenta fructificaciones que llegan a ser localmente masivas durante el otoño e invierno en los pinares, aunque puede aparecer prácticamente durante todo el año exceptuando los meses más cálidos del verano. *L. omphalodes* es, por su abundancia, una de las principales especies implicadas en la descomposición de los restos leñosos de pino caídos en el suelo; muchas veces también creciendo sobre las piñas. La presencia de gran cantidad de madera enterrada hace que muchas veces sus carpóforos surjan desde el suelo, dificultando la percepción de que se trata de una especie estrictamente asociada a la madera.

ESPECIES EMPARENTADAS | Otras especies de esta familia presentes en el litoral onubense, aunque poco frecuentes, también implicadas en el proceso de descomposición de la madera son *Hohenbuehelia petaloides* y *Ossicaulis lignatilis*. ***Arrhenia spathulata*** [LÁMINA 05-6.I] es otra especie de la familia, pero siempre asociada al musgo.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Arañas y ácaros son habitantes comunes de estas setas. Aunque poco abundantes, a veces también encontramos en su interior larvas de dípteros.

ORDEN TRICHOLOMATALES | *AGARICOMYCETES*

Marasmius quercophilus Pouz. (MARASMIACEAE) [LÁMINA 05-6.J]

USOS Y RIESGOS | Sin valor culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie saprotrofa que puede aparecer desde otoño hasta primavera, siempre en periodos húmedos y después de precipitaciones importantes. Son muy características sus fructificaciones masivas integradas por centenares de individuos creciendo de forma cespitosa sobre la hojarasca caída de alcornoques, encinas y coscojas.

ESPECIES EMPARENTADAS | Otras especies muy similares en la comarca son *Marasmius androsaceus* (sobre acículas caídas de pinos) y *Marasmius graminum* (sobre restos de herbáceas). *Marasmius oreades* (mucho mayor y que forma característicos "corros de brujas" en praderas) es otra de las especies consideradas muy buen comestible, aunque no es abundante en la comarca. Finalmente, *Marasmius carpathicus* no es rara en la zona creciendo en los pinares bajo mirtos, lentiscos y sabinas.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos capturado artropofauna ni detectados indicios de predación en sus carpóforos.

ORDEN TRICHOLOMATALES | *AGARICOMYCETES*

Collybia dryophila (Bull.:Fr.) Kumm. (MARASMIACEAE) [LÁMINA 05-6.K]

USOS Y RIESGOS | Comestible de escaso valor culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es uno de los hongos más comunes en el sotobosque de los pinares litorales, que podemos encontrar desde otoño hasta primavera creciendo normalmente de forma gregaria o incluso fasciculada. Se trata, por su abundancia, de una de las especies claves en el proceso de descomposición del humus en los pinares de la comarca.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Collybia butyracea* comparte el mismo hábitat, pero es menos abundante. *Collybia impúdica* es otra especie de este género, aunque muy rara en la zona.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Es sus setas habita una importante variedad de ácaros de diferentes familias (destacando entre ellas Epicridae) y colémbolos (Hypogastruridae). También hemos encontrado diversos dípteros, tanto en estado larvario como adultos.

ORDEN TRICHOLOMATALES | *AGARICOMYCETES*

Mycena leptocephala (Pers.:Fr.) Gill. (MARASMIACEAE) [LÁMINA 05-6.L]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario. Muchas especies de este género son tóxicas.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Aparece en grandes cantidades en otoño e invierno después de las precipitaciones, creciendo de forma cespitosa sobre acículas de pino. Es una especie descomponedora que, junto con otras similares que habitan sobre restos orgánicos del suelo, cumplen además un importante papel de fijación en el sitio de la materia orgánica gracias al rápido crecimiento del micelio, que funciona como una red que fija los restos orgánicos de los que se nutre, contribuyendo de esta forma a dificultar que este material sea arrastrado por el agua o el viento, por lo que disminuyen la exportación de nutrientes desde su zona de influencia, y favorecen la nutrición mineral y el crecimiento de la vegetación.

ESPECIES EMPARENTADAS | El género *Mycena* tiene muchos representantes en los ecosistemas del litoral onubense, así son comunes: *Mycena vulgaris*, *Mycena metata* y *Mycena rosella* (también creciendo sobre acículas), *Mycena seynesii* (sobre piñas), *Mycena pura* (en bosques y matorral maduro), *Mycena sanguinolenta* (sobre restos vegetales del sotobosque) *Mycena meliigera* (en troncos de planifolios), *Mycena acicula* (en zonas húmedas del bosque), o *Mycena bulbosa* (asociada a zonas húmedas sobre tallos muertos de Juncus y Carex), entre otras. ***Hemimycena lactea*** (bajo pinos) [LÁMINA 05-6.M] y *Delicatula integrella* (en herbazales húmedos) son dos pequeñas especies blancas de la familia con porte micenoide también presentes en la comarca.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Colémbolos (Hypogastruridae) y ácaros (Epicridae), son comunes en ejemplares de esta especie. Sus carpóforos son usados como zona de campeo de quilópodos.

ORDEN TRICHOLOMATALES | *AGARICOMYCETES*

Hygrocybe cantharellus (Schw.) Murr. (HYGROPHORACEAE) [LÁMINA 05-6.N]

USOS Y RIESGOS | Sin interés culinario.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es un hongo poco común, de fructificación otoñal, que suele aparecer en periodos húmedos bajo el sotobosque de matorral maduro mediterráneo, y creciendo también frecuentemente sobre musgo. Este género está representado en la comarca por especies descomponedoras habitantes del humus del suelo.

ESPECIES EMPARENTADAS | ***Hygrocybe conica*** [LÁMINA 05-6.Ñ], *Hygrocybe pseudoconica*, *Hygrocybe olivaceonigra*, *Hygrocybe miniata*, e *Hygrocybe cinereifolia* (algunas de ellas tóxicas o sospechosas de toxicidad) son otras especies del género en la comarca. Son igualmente poco abundantes y aparecen en hábitats preferentemente abiertos y ricos en materia orgánica.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No hemos encontrado entomofauna asociada a ninguna de las setas de este grupo durante el periodo de estudio.

ORDEN PLUTEALES | *AGARICOMYCETES*

Volvariella speciosa (Fr.) Sing. (PLUTEACEAE) [LÁMINA 05-7.A]

USOS Y RIESGOS | Existe controversia en relación con su comestibilidad, ya que hay autores que la consideran comestible, en tanto que otros le atribuyen una cierta toxicidad.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie común, que puede llegar a ser localmente abundante, y que aparece desde el otoño hasta la primavera en pastizales y claros de bosque nitrificados. Es un taxón saprotrofo implicado en la descomposición de la materia orgánica en herbazales.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Pluteus cervinus*, *Pluteus petasatus* y *Pluteus atromarginatus* son otras especies poco abundantes de la familia que crecen sobre tocones y madera muerta.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En estas setas únicamente hemos encontrado diferentes especies de dípteros (Sciaridae), aunque frecuentemente presentan indicios de predación por parte de pequeños mamíferos y moluscos.

ORDEN PLUTEALES | *AGARICOMYCETES*

Entoloma hirtipes (Schum.: Fr.) Mos. (ENTOLOMATACEAE) [LÁMINA 05-7.B]

USOS Y RIESGOS | Es una especie tóxica.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es un hongo poco habitual, habitante del suelo en los bosques litorales onubenses tanto planifolios como de coníferas, que puede aparecer durante todo el año excepto en verano. *Entoloma* es un género de saprotrofas, aunque algunas especies robustas de este género con fructificación primaveral forman ectomicorrizas.

ESPECIES EMPARENTADAS | ***Entoloma lazulinum*** [LÁMINA 05-7.C], *Entoloma corvinum*, *Entoloma conferendum* y *Entoloma sericeum* son otras especies del género, igualmente tóxicas o sospechosas de toxicidad, asociadas a zonas abiertas de los bosques y sus márgenes.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En sus setas es común observar larvas de díptero, junto con ejemplares adultos de colémbolos (Hypogastruridae) y ácaros (Epicridae).

ORDEN BOLETALES | *AGARICOMYCETES*

Omphalotus olearius (D.C.:Fr.) Fayod (OMPHALOTACEAE) [LÁMINA 05-7.D]

USOS Y RIESGOS | Es una especie tóxica que provoca graves trastornos psíquicos y gastrointestinales; además tiene un efecto laxante.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es poco frecuente en el litoral onubense, y fructifica durante el otoño e invierno sobre madera de olivos, encinas y arbustos mediterráneos (acebuches, lentiscos y mirtos). Se comporta como descomponedora de madera, pero también como parásita anclándose a las raíces de sus hospedadores. Sus setas son bioluminiscentes (emiten luz que puede ser percibida en la oscuridad) debido a la presencia de iludinas. Aunque existen diferentes hipótesis para explicar este llamativo fenómeno (protección frente a insectos micófagos, o una simple consecuencia bioquímica colateral del complejo proceso de lignolisis), no se sabe a ciencia cierta la respuesta.

ESPECIES EMPARENTADAS | ***Hygrophoropsis aurantiaca*** (en pinares) [LÁMINA 05-7.E] es otra especie del orden boletales con láminas que no es rara en la comarca del litoral onubense.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | En los ejemplares estudiados únicamente hemos identificado dípteros adultos pertenecientes a la familia Calliphoridae.

ORDEN BOLETALES | *AGARICOMYCETES*

Tapinella panuoides (Batsch) Gilbert (CONIOPHORACEAE) [LÁMINA 05-7.F]

USOS Y RIESGOS | Según algunos autores se trata de una especie tóxica.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | No es común, aunque sí muy fiel a las localidades en las que aparece. Sus setas se desarrollan durante otoño e invierno, asociadas a tocones o restos de madera de pino de los que se nutre, habitualmente en zonas boscosas umbrías y húmedas.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Paxillus involutus* es una especie emparentada, aunque en este caso se trata de una micorriza de árboles.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Es sus setas abundan dípteros (Sciaridae) y colémbolos (Hypogastruridae).

ORDEN BOLETALES | *AGARICOMYCETES*

Boletus satanas Lenz (BOLETACEAE) [LÁMINA 05-7.G]

USOS Y RIESGOS | Su consumo produce importantes trastornos gastrointestinales.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie poco frecuente en el litoral onubense, que aparece durante el otoño y principios de invierno asociada a pies de encina y alcornoque. Establece relaciones de tipo ectomicorriza con quercíneas.

ESPECIES EMPARENTADAS | Las diferentes especies de este género que aparecen en la comarca son poco abundantes; entre ellas se encuentran: *Boletus queletii*, *Boletus regius* y *Boletus impolitus* (que comparten hábitat con *B. satanas*), *Boletus luridus* (que además puede aparecer bajo los pinos) y, a pesar de tratarse de un taxón que generalmente presenta hábitos montanos, ***Boletus pinophilus*** (un excelente comestible asociado a pinos) [LÁMINA 05-7.H]).

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Sus grandes setas suelen cobijar larvas de díptero que se alimentan de ella; también hemos encontrado ejemplares adultos pertenecientes a la familia Sciaridae e himenópteros de la familia Formicidae.

ORDEN BOLETALES | *AGARICOMYCETES*

Leccinum corsicum (Roll.) Sing. (BOLETACEAE) [LÁMINA 05-7.I]

USOS Y RIESGOS | Es una especie comestible.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Aparece desde otoño hasta primavera bajo jaras, tanto en formaciones arbustivas no arboladas como en bosques y plantaciones forestales. *L. corsicum* es, debido a su abundancia, uno de los hongos fundamentales en los jarales litorales, donde establece micorrizas con diferentes especies del género *Cistus*.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Leccinum lepidum* (bajo encinas o alcornoques) y ***Leccinum duriusculum*** (bajo chopos) [LÁMINA 05-7.J] son otras especies comunes en el litoral onubense.

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Se trata de la especie fúngica en la que hemos detectado los valores máximos de riqueza de artrópodos de entre todas las estudiadas. En sus carpóforos encontramos dípteros en estado larvario (Drosophiliae) y adultos (Calliphoridae y Sciaridae), Lepidópteros (Arctiidae), Coleópteros (Staphylinidae y Leiodidae), colémbolos (Poduromorpha), diplópodos (Craspedosomatida) y crustáceos isópodos (Oniscidae). Los moluscos son también consumidores usuales de *Leccinum*. En ejemplares de *L. lepidum* (otra especie típicamente mediterránea) identificamos dípteros pertenecientes a la familia Camillidae.

ORDEN BOLETALES | *AGARICOMYCETES*

Suillus mediterraneensis (Jack. & Blum) Redeuilh (BOLETACEAE) [LÁMINA 05-7.K]

USOS Y RIESGOS | Es comestible, aunque sólo cuando joven y desechando los poros debido a la textura desagradable de éstos y de las setas maduras de esta especie.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es muy abundante durante el otoño e invierno, y suele aparecer en grupos de muchos individuos o grandes corros, siempre asociada a pinos. El género *Suillus* incluye un grupo de especies que establecen ectomicorrizas con los pinos. Todas ellas, debido a su abundancia, son de gran importancia para el sostenimiento de estos pinares litorales.

ESPECIES EMPARENTADAS | En la comarca también aparecen con mucha frecuencia *Suillus collinitus* (muy parecida a la anterior) y ***Suillus bellinii*** (un buen comestible a pesar de que suele ser rechazado por los recolectores de setas) [LÁMINA 05-7.L].

APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No es extraño encontrar ejemplares de estas especies, y otros boletales con himenóforo porado, parasitados por ***Hypomyces chrysospermus*** [LÁMINA 05-1.J], un ascomiceto de colores crema, amarillos o anaranjados que tiende a recubrir los carpóforos, arruinándolos para su consumo e impidiendo la formación de esporas.

Las setas de *S. mediterraneesis*, como las de *S. collinitus*, suelen albergar dípteros, tanto en estado larvario (Muscidae), como adultos (Sciaridae y Calliphoridae); asimismo, hemos identificado en sus carpóforos tres familias diferentes de coleópteros (Staphylinidae, Carabidae y Leiodidae) y colémbolos (Hypogastruridae). También es muy común encontrar estas setas en el campo con evidencias de haber sufrido predación por parte de aves de tamaño mediado, probablemente mirlos, palomas y/o arrendajos por el tamaño de las marcas.

ORDEN BOLETALES | *AGARICOMYCETES*

Xerocomus chrysenteron (Bull.) Quél. (BOLETACEAE) [LÁMINA 05-7.M]

USOS Y RIESGOS | Considerada como comestible mediocre.

HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie común en las formaciones arboladas de la comarca desde el otoño hasta la primavera. Se trata de una micorriza de amplio espectro en relación a los vegetales con los que puede asociarse, bastante indiferente al tipo de sustrato.

ESPECIES EMPARENTADAS | *Xerocomus badius*, *Xerocomus subtomentosus*, *Xerocomus impolitus*, *Xerocomus rubellus* y *Xerocomus armeniacus* son otras especies presentes en la comarca, aunque son mucho menos abundantes.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No ha sido posible estudiar la artropofauna asociada a este hongo, aunque sí hemos podido observar que es normal que sus setas sufran predación por parte de mamíferos de pequeño tamaño.

ORDEN BOLETALES | *AGARICOMYCETES*

Aureoboletus gentilis (Quél.) Pouz. (BOLETACEAE) [LÁMINA 05-7.N]

USOS Y RIESGOS | Es un comestible de mediocre, pero por su escasez se recomienda no consumirlo.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Especie bastante rara en la comarca, que fructifica en otoño y principios de invierno asociada a los alcornoques de la comarca. Es una micorriza de amplio espectro que en la zona se asocia fundamentalmente a quercíneas.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | No ha sido posible estudiar la artropofauna asociada a esta especie, aunque sí hemos observado sus setas mordisqueadas por moluscos.

ORDEN BOLETALES | *AGARICOMYCETES*

Buchwaldoboletus hemichrysus (Berk. & Curtis) Pilát (BOLETACEAE) [LÁMINA 05-7.Ñ]

USOS Y RIESGOS | Sin valor culinario.
HÁBITAT Y ECOLOGÍA | Es una especie frecuente en los pinares, que crece durante todo el otoño asociada a tocones muertos y quemados de pinos, llegando a ser abundante en bosques de pinos que han sufrido el efecto del fuego. Este taxón es un importante descomponedor de los tocones de pino quemados o no.
APUNTES SOBRE BIODIVERSIDAD | Es bastante común la presencia en el campo de ejemplares parasitados por *Hypomyces*, con consecuencias similares a las descritas para *Suillus*.
Aunque no hemos estudiado la artropofauna asociada a esta especie, sí hemos observado indicios de predación por grandes vertebrados, probablemente cabras domésticas que pastorean en los pinares.

LÁMINA
05-1

ASCOMYCETES

A: *Otidea umbrina*. **B:** *Peziza badia*. **C:** *Aleuria aurantia*. **D:** *Anthracobia maurilabra*. **E:** *Humaria hemisphaerica*. **F:** *Helvella lacunosa*. **G:** *Pyronema domesticum*. **H:** *Hypoxylum mediterraneum*. **I:** *Peckiella lateritia*. **J:** *Hypomyces chrysospermum*. K: *Trichoglossum hirsutum*.



LÁMINA
05-2

PHRAGMOBASIDIOMYCETES

A: *Auricularia auricula-judae*. **B:** *Temella mesenterica*. **C:** *Dacrymyces stillatus*.



LÁMINA
05-3

APHYLLOPHOROMYCETES

A: *Cantharellus lutescens*. **B:** *Thelephora terrestris*. **C:** *Hydnellum ferrugineum*. **D:** *Phellodon niger*. **E:** *Clavulina cristata*. **F:** *Stereum hirsutum*. **G:** *Ganoderma resinaceum*. **H:** *Coltricia perennis*. **I:** *Phellinus torulosus*. **J:** *Polyporus meridionalis*. **K:** *Perenniporia rosmarini*. **L:** *Phaeolus schweinitzii*. **M:** *Laetiporus sulphureus*. **N:** *Trichaptum fuscoviolaceum*. **Ñ:** *Schizophyllum commune*.



LÁMINA
05-4

GASTEROMYCETES

A: *Lycoperdon perlatum*. **B:** *Bovista aestivalis*. **C:** *Calvatia cyathiformis*. **D:** *Geastrum fornicatum*. **E:** *Myriostoma coliforme*. **F:** *Scleroderma meridionale*. **G:** *Astraeus hygrometricus*. **H:** *Pisolithus arhizus*. **I:** *Phallus impudicus*. **J:** *Clathrus ruber*. **K:** *Tulostoma fimbriatum*. **L:** *Rhizopogon luteolus*. **M:** *Torrendia pulchella*. **N:** *Gyrophragmium dunalii*.



LÁMINA
05-5

AGARICOMYCETES

A: *Agaricus impudicus*. **B:** Leucoagaricus leucothites. **C:** *Macrolepiota fuligineosquarrosa*. **D:** *Coprinus atramentarius*. **E:** *Coprinus comatus*. **F:** *Psathyrella pennata*. **G:** *Panaeolus sphinctrinus*. **H:** *Amanita rubescens*. **I:** *Amanita phalloides*. **J:** *Cortinarius trivialis*. **K:** *Hebeloma cistophilum*. **L:** *Inocybe geophylla*. **M:** *Psilocybe merdaria*. **N:** *Agrocybe aegerita*. **Ñ:** *Gymnopilus spectabilis*.

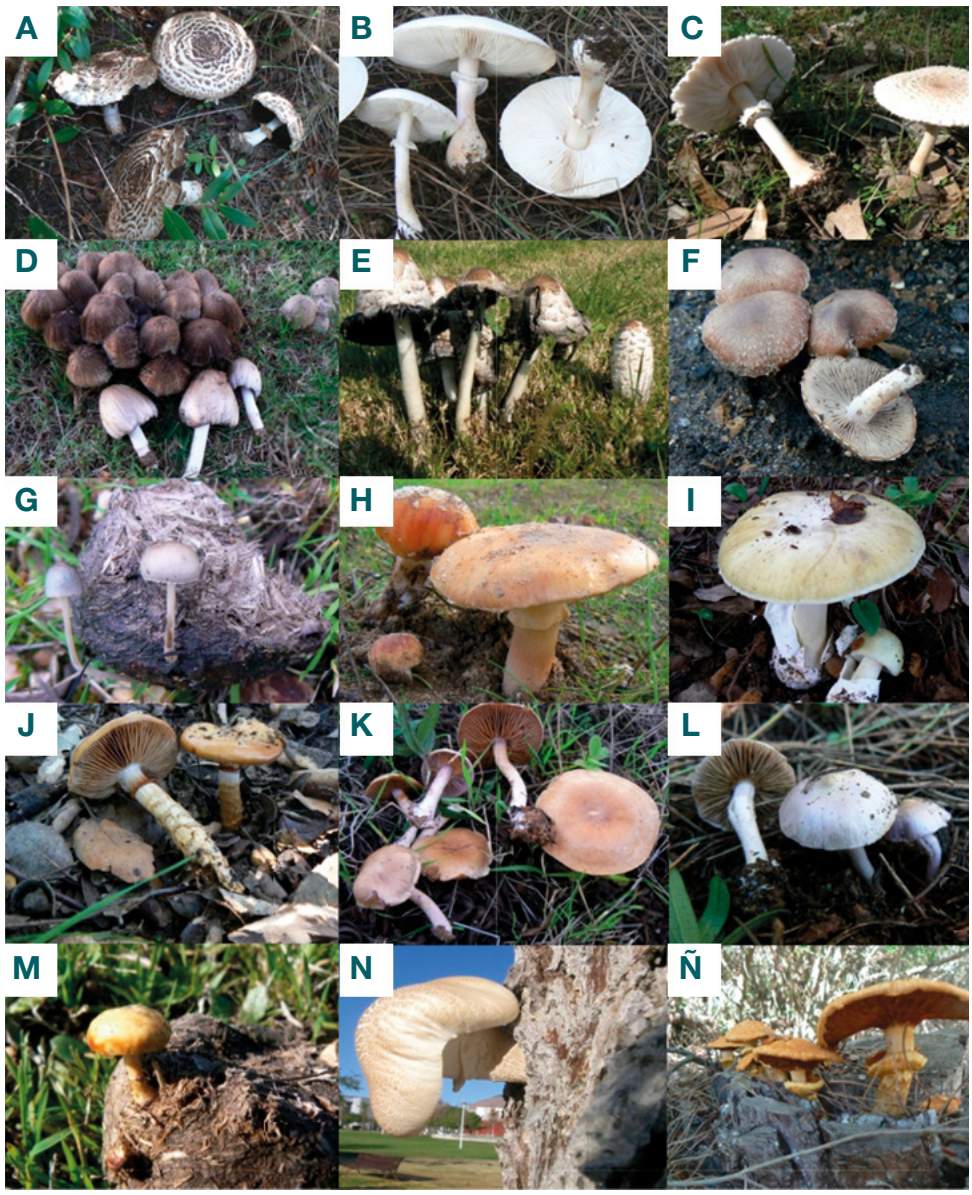


LÁMINA
05-6

AGARICOMYCETES

A: *Russula torulosa*. **B:** *Lactarius deliciosus*. **C:** *Lactarius rugatus*. **D:** *Tricholoma fracticum*. **E:** *Clitocybe gibba*. **F:** Clitocybe geotropa. **G:** *Laccaria laccata*. **H:** *Lentinellus omphalodes*. **I:** *Arrhenia spathulata*. **J:** *Marasmius quercophilus*. **K:** *Collybia dryophila*. **L:** *Mycena leptocephala*. **M:** *Hemimycena lactea*. **N:** *Hygrocybe cantharellus*. **Ñ:** *Hygrocybe conica*.



LÁMINA
05-7

AGARICOMYCETES

A: *Volvariella speciosa*. **B:** *Entoloma hirtipes*. **C:** *Entoloma lazulinum*. **D:** *Omphalotus olearius*. **E:** *Hygrophoropsis aurantiaca*. **F:** *Tapinella panuoides*. **G:** *Boletus satanas*. **H:** *Boletus pinophilus*. **I:** *Leccinum corsicum*. **J:** *Leccinum duriusculum*. **K:** *Suillus mediterraneesis*. **L:** *Suillus bellini*. **M:** *Xerocomus chrysenteron*. **N:** *Aureoboletus gentilis*. **Ñ:** *Buchwaldoboletus hemichrysus*.



[2]
Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a Inma, que colaboró en innumerables salidas de campo durante el periodo de recolección de las muestras.

A Juan José López Pérez (†) que identificó la mayor parte de los coleópteros.

A Manuel Huertas Dionisio que nos orientó con la identificación de los lepidópteros.

Y agradecemos al Paraje Natural Marismas del Odiel y la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía por todas las facilidades dadas para la realización de este estudio.

[3]
Bibliografía

Arbea, J.I.; Jordana, R. (1989). *Clave de identificación de los géneros de Colémbolos de España (Insecta:Collembola)*. *Serie Zoológica*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra. Pamplona.

Arora, D. (1986). *Mushrooms demystified*. Ten Speed Press. New York.

Arrondo, E. (2014). *Los hongos y el hombre*. Punto Rojo Libros. Madrid.

Baquero, E.; Jordana, R. (2015). *Clase Collembola. Órdenes Poduromorpha, Entomobryomorpha, Neelipleona y Symphypleona*. Ibero Diversidad Entomológica. 36: 1-11.

Barrientos, J.A. (Ed.) (2004). *Curso Práctico de Entomología*. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.

Benítez Malvido, J.; Gavito, M.E. (2012). *Interacción entre plantas y hongos. En: Ecología y evolución de las interacciones bióticas*. E. del Val y K. Boege (Coords.) pp. 140-174. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

Beug, M.W.; Bessette, A.E.; Bessette, A.R. (2014). *Ascomycete fungy of North America. A mushroom reference guide.* University of Texas Press. Austin.

Boccardo, F.; Traverso, M.; Vizzini, A.; Zotti, M. (2008). *Funghi d`Italia*. Zanichelli. Bologna.

Bon, M. (2004). *Guía de campo de los hongos de España y de Europa*. Omega. Barcelona.

Bruns, T.D. (1984). *Insect Mycophagy in the Boletales: Fungivore Diversity and the Mushroom Habitat*. En: Wheeler Q. y Blackwell M. (Eds.) *Fungus-Insect Relationships*. 99-129. Columbia University Press. New York.

Buczacki, S. (2012). *Collins Fungi Guide*. Harper Collins Publishers. London.

Calonge, F. (1998). *Flora micológica ibérica.* Vol. 3. Real Jardín Botánico. CSIC. Madrid.

Calonge, F. (2004) *Apuntes para la futura lista roja de hongos españoles*. *Bol. Soc. Micol. 28: 391-397.*

Calonge, F. (2011). *Hongos medicinales*. Mundi Prensa. Madrid.

Calzada Domínguez, A. (2007). *Guía de los Boletos de España y Portugal*. Náyade. Valladolid.

Castro Marcote, J.M. (2010). *Guía de setas dunares*. Ellago Ediciones. Pontevedra.

Chinery, M. (2005). *Insectos de España y de Europa*. Omega. Barcelona.

Cotter, T. (2014). *Organic mushrooom farming and mycorremediation*. Chelsea Green Publishing. Vermont.

- Courtecuisse, R.; Duhem, B. (2005). *Guía de los Hongos de la Península Ibérica, Europa y Norte de África*. Omega. Barcelona.
- Crespo, A.; Divakar, P.K.; Lumbsch, H.T. (2012). *Hongos*. En: *El árbol de la vida: Sistemática y evolución de los seres vivos.* P. Vargas y R. Zardoya (Eds.) pp. 144-157. CSIC. Madrid.
- Dajoz, R. (2001). *Entomología Forestal. Los Insectos y el Bosque*. Mundi-Prensa. Madrid.
- Dierl, W. (Ed.) (1995). *Insectos de España y de Europa: Identificación, hábitat y biología*. Omega. Barcelona.
- Esteve Raventós, F.; Llistosella, J.; Ortega, A. (2007). *Setas de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Jaguar. Madrid.
- García Blanco, A.; Sánchez Rodríguez, J.A. (2009). *Setas de la Península Ibérica y de Europa*. Everest. León.
- García Rollán, M. (1976). *Hongos de la madera*. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- Gerhardt, E.; Vila, J.; Llimona, X. (2000). *Hongos de España y de Europa*. Omega. Barcelona.
- Herrera, T.; Ulloa, M. (1998). *El reino de los hongos. Micología básica y aplicada*. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Ide, S.; Simonka C.; Costa, C. (Eds.). (2006). *Insectos inmaduros: metamorfosis e identificación*. Sociedad Entomológica Aragonesa. Zaragoza.
- Imbert, J.B.; Blanco, J.A.; Castillo, F.J. (2004). *Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global.* En: *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. F. Valladares (Ed.). pp. 479-506. Ministerio de Medio Ambiente. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid.
- Ingold, C.T.; Hudson, H.J. (1993). *The Biology of Fungi: Ecology of saprotrophic fungi*. Springer. Rotterdam.
- Jones D. (1983). *Guía de Campo de los Arácnidos*. Omega. Barcelona.
- Kimmins, J.P. (1997). *Forest Ecology. A foundation for sustainable management*. Prentice Hall. New Jersey.
- Lawrence, J.F. (1989). *Mycophagy in the Coleoptera: Feeding Strategies and Morphological Adaptations*. En: *Insect- Fungus Interactions*. Wilding, N.M.; Collins, P.M. Hammond & Webber, J.F. (Eds.) Academic Press. New York.
- Llamas, B.; Terrón, A. (2003). *Atlas fotográfico de los hongos de la Península Ibérica*. Celarayn. León.
- Llamas, B.; Terrón, A. (2004). *Hongos de Doñana*. Ministerio de Medio Ambiente. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid.
- Martínez, L.B.; Pugnaire, F.I. (2009). *Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos*. Ecosistemas, 18 (2): 44-54.
- Monedero, C. (2011). *El Género Russula en la Península Ibérica*. Centro de Estudios Micológicos de Euskadi. Bilbao.
- Moreno Arroyo, B. (Coordinador) (2004). *Inventario Micológico Básico de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Córdoba.
- Moreno Arroyo, B.; Gómez Fernández, J.; Pulido, E. (2005). *Tesoros de nuestros montes. Trufas de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Córdoba.
- Moreno, G.; Manjón, J.L. (2010). *Guía de Hongos de la Península Ibérica*. Omega. Barcelona.
- Mousain, D.M.; Boukcim, H.; Richard, F. (2009). *Mycorrhizal symbiosis and its role in seedling response to drought*. En: *Cork oak woodlands on the edge. Ecology, adaptative management and restoration*. J. Aronson, J.S. Pereira y J.G. Pausas (Eds.) pp. 81-87. Island Press. Washington.
- Mueller, G.M.; Bills, G.F.; Foster, M.S. (Eds.) (2004). *Biodiversity of Fungi.* Inventory and Monitoring Methods. Elsevier. London.
- Oria de Rueda, J.A. (2007). *Hongos y setas. Tesoro de nuestros montes*. Cálamo. Palencia.

- Palazón, F. (2006). *Setas para todos*. Editorial Pirineo. Huesca.
- Passola, G. (2015). *Los hongos xilófagos que viven en los árboles*. Círculo Rojo. Almería.
- Petersen, J.H. (2012). *The kingdom of fungi*. Princeton University Press. New Jersey.
- Phillips, M. (2017). *Mycorrhizal planet: how symbiotic fungi work with roots to support plant health and build soil fertility*. Chelsea Green Publishing. Vermont.
- Romero de la Osa, L. (2003). *Las Setas del Parque Natural Sierra de Aracena y Picos de Aroche*. Diputación de Huelva. Huelva.
- Ruiz Herrera, J. (2008). *Viaje al asombroso mundo de los hongos*. Fondo de Cultura Económica. México DF.
- Sánchez, J.A.; Flórez, J.; Sierra, J.L.; Guerra, B.; Chamorro, M. (2004). *Los hongos. Manual y guía didáctica de micología*. IRMA S.L. León.
- Sánchez, J.A.; Rubio, E.; Rojo, D. (2008). *Hábitats de las setas. Protección y conservación*. IRMA S.L. León.
- Stamets, P. (2005). *Mycelium running. How mushrooms can help save the world*. Ten Speed Press. Berkeley.
- Stephenson, S.L. (2010). *The kingdom fungi. The biology of mushrooms, molds and lichens*. Timber Press. London.
- Tellería, M.T. (2002). *Riqueza fúngica de la Península Ibérica e Islas Baleares. El proyecto "Flora Micológica Ibérica".* En: *La diversidad biológica de España*. F.D. Pineda, J.M. de Miguel, M.A. Casado y J. Montalvo (Eds.) pp. 153-160. Prentice Hall. Madrid.
- Tellería, M.T. (2011). *Los hongos*. CSIC. Madrid.
- Tellería, M.T. (2017). *Donde habitan los dragones. Los hongos en ambientes extremos o poco explorados*. CSIC. Madrid.
- Tuno N. (1998). *Spore dispersal of Dictyophora fungi (Phallaceae) by flies*. Ecological Research, 13: 7-15.
- Vega F.E.; Blackwell M. (Eds.) (2005). *Insect-Fungal Associations. Ecology and Evolution*. Oxford University Press. New York.
- Watkinson, S.C.; Boddy, L.; Money, N.P. (2016). *The Fungi*. Academic Press. San Diego.
- Webster, J.; Weber, R.W.S. (2007). *Introduction to Fungi*. Cambridge Univesity Press. New York.
- Wheeler, Q.; Blackwell, M. (Eds.) (1984). *Fungus-Insect Relationships*. Columbia University Press. New York.
- Zaragoza, J.A. (2015). *Clase Arachnida. Orden Pseudoescorpiones*. Ibero Diversidad Entomológica, 20: 1-10.
- Zuccherelli, A. (2006). *I funghi delle pinete delle zone mediterranee. Vol. 2*. Longo Editore. Ravenna.



06

Monitorización del estrés ambiental en el medio acuático mediante la evaluación de biomarcadores inducidos por cadmio en *Carassius auratus* (Linneo, 1758)

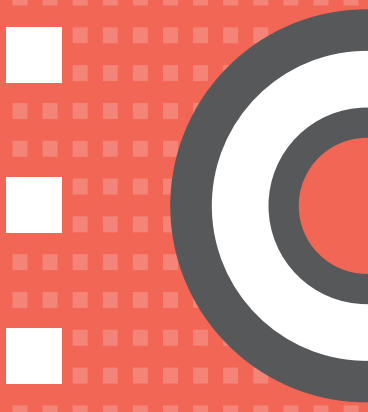
Yoselin Roa Aravena || Antonio L. Canalejo Raya * || Rafael Torronteras Santiago *

Grupo Investigación de Respuestas Celulares al Estrés Ambiental (BIO-282). Área de Biología Celular. Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España.

* Corresponding author

Dr. Rafael Torronteras Santiago || torronte@uhu.es
Dr. Antonio Canalejo Raya || antonio.canalejo@dbasp.uhu.es

Tel.: +34 959 21 98 91 || Fax: +34 959 21 94 67



Monitorización del estrés ambiental en el medio acuático mediante la evaluación de biomarcadores inducidos por cadmio en *Carassius auratus* (Linneo, 1758)

Yoselin Roa Aravena || Antonio L. Canalejo Raya || Rafael Torronteras Santiago

RESUMEN

La contaminación en el medio acuático es un problema cada vez más serio y que va en aumento. Los organismos acuáticos, pueden acumular los xenobióticos del agua contaminada o de la cadena trófica. El cadmio es un metal que puede alcanzar el medio acuático y producir efectos adversos en los organismos debido a su alta toxicidad, incluso en baja concentración. Es por este motivo que es de gran importancia la monitorización ambiental de este metal por medio de bioensayos. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos tóxicos tempranos del cadmio sobre peces de la especie *Carassius* auratus *(L),* mediante el desarrollo de bioensayos de laboratorio con diferentes concentraciones (0,01; 0,1 y 1 mg/L) y analizando biomarcadores de exposición y efecto como, la detección histológica de la bioacumulación de Cd en los órganos branquias e hígado mediante la tinción de Ditizona, el daño genotóxico mediante el test de micronúcleos y la inducción de estrés oxidativo mediante la cuantificación de daño oxidativo (peroxidación lipídica) y de la respuesta antioxidante [enzimas superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT)]. Los resultados obtenidos mostraron que las tres concentraciones de cadmio provocaron la acumulación del metal en los dos órganos estudiados. Así mismo, se observó un aumento en la cantidad de micronúcleos en los eritrocitos de los peces expuestos a la mayor concentración de cadmio (700%, respecto al control). Además, se pudo identificar daño oxidativo con la medida de la peroxidación lipídica, un aumento del 72% (branquias) y del 90% (hígado) en los niveles de hidroperóxidos frente al control en los peces expuestos a 1 mg/L de cadmio. En relación con la respuesta antioxidante, la actividad SOD presentó un aumento del 67% (branquias) y 98% (hígado) frente al control en los peces expuestos a 1 mg/L. En el caso de la CAT, el aumento fue significativo desde la menor concentración en branquias, aumentando un 32% frente al control, y en la mayor concentración en hígado (en un 68%).

En conclusión, este estudio muestra que en peces expuestos a bajas concentraciones de cadmio se produce una bioacumulación del mismo en los tejidos que se asocia con la inducción de estrés oxidativo y el desarrollo de daño genotóxico. Además, estos efectos ocurren de manera muy rápida, detectándose a las 96 horas de exposición. Por ello, los biomarcadores tempranos de exposición y efecto utilizados en este estudio aparecen como herramientas útiles para la biomonitorización de la contaminación ambiental por este metal en el medio acuático.

PALABRAS CLAVE

Peces, biomonitorización ambiental, biomarcadores, ecosistemas de agua dulce, *Carassius auratus*, metales pesados, estrés oxidativo, cadmio, alteraciones histopatológicas, histoquímica.

Prólogo

El grupo de investigación de "Respuestas y Adaptaciones Celulares frente al Estrés Ambiental" (Grupo BIO-282 de la Junta de Andalucía) que constituimos entre otros miembros, biólogos del área de Biología Celular de la Universidad de Huelva, lleva trabajando desde sus inicios en la activación y efectos del estrés oxidativo, el cual puede ser producido en condiciones de estrés ambiental. Los seres vivos (tanto vegetales como animales) tienen diversos mecanismos de defensa para hacer frente al estrés oxidativo.

Los mecanismos celulares antioxidantes son un eficaz sistema de defensa frente a distintos tipos de contaminantes (incluidos los metales pesados) y también son una excelente herramienta como biomarcadores de alerta temprana. Por tanto, el gran interés que tiene el estudio de la influencia de los metales pesados en los ecosistemas terrestres y acuáticos no se limita solo a la calidad ambiental, es decir, a conocer los niveles de contaminantes en suelos, aguas y/o sedimentos, sino además esos estudios se pueden aplicar a conocer el impacto que producen dichos xenobióticos (metales incluidos) sobre los organismos vivos. Nuestro grupo ha realizado estudios tanto en modelos vegetales y animales.

Inicialmente, nuestro grupo de investigación se centró en los estudios en especies vegetales, concretamente en *Spartina densiflora* (Brong) y en *Erica andevalensis* (Cabezudo & Rivera). Y últimamente, en dos especies animales de gran interés comercial como son la lubina y la dorada, con el objetivo general de conocer y desarrollar en ellos bioindicadores de contaminación metálica. Así, nuestra finalidad radica en el conocimiento sobre la capacidad que los metales pesados pueden tener de alterar o producir lesiones en diferentes células, tejidos u órganos y en el conocimiento de los mecanismos antioxidantes que poseen y que puedan establecerse como útiles biomarcadores tempranos del daño oxidativo causado por xenobióticos ambientales. Estos procesos están influidos por la biodisponibilidad metálica, por lo que también es importante el conocimiento geoquímico de estas sustancias tóxicas en los ecosistemas, incluyendo la especiación metálica.

Spartina densiflora (Brong) es una planta halófila que ha colonizado las marismas del río Odiel (Huelva), que presentan altos niveles de metales (Fe, Ni, Cu, Pb, Zn, As, Cd,...) debido a la histórica actividad minera en la cuenca y a la cercanía de un polo industrial petroquímico. Entre los metales destaca la elevada concentración de Fe en sedimentos. Sin embargo, en este medio *Spartina densiflora*, una gramínea de origen sudamericano, prospera con éxito, colonizando nuevas áreas y desplazando a especies nativas. Nuestras investigaciones demostraron que esta habilidad para colonizar ambientes pro-oxidantes y competir con especies autóctonas está relacionada con la posesión de mecanismos no enzimáticos (del ácido ascórbico), así como con la modulación de mecanismos enzimáticos muy eficaces como defensa antioxidante. Por otra parte, en el caso de *Erica andevalensis* (Cabezudo & Rivera) se trata de una especie vegetal endémica del sudoeste de la Península

Ibérica capaz de crecer en suelos muy afectados por la actividad minera (escorias de minas, riberas de los ríos Tinto y Odiel, etc.), sin competencia vegetal en estas zonas que muestran un alto rango de contaminación metálica, especialmente por cadmio (Cabezudo and Rivera, 1980; Nelson *et al*., 1985; Soldevilla *et al*., 1992; Asensi *et al*., 1999; Márquez-García and Córdoba, 2010). Nuestros estudios en el laboratorio confirmaron que esta especie es capaz de reproducirse y crecer en presencia de altos niveles de metales (cadmio), gracias a la activación de su maquinaria enzimática antioxidante sumamente eficaz.

Finalmente, en los últimos años nos hemos interesado por la relación entre ambientes contaminados por metales pesados y aquellas patologías de peces relacionadas con estos contaminantes [Myers et al., 1994; Blasco *et al*., 1999., González de Canales et al., 2001; Oliva et al., 2009; entre otros]. Los peces son muy sensibles a muchos contaminantes y los cambios patológicos que sufren permiten definir la toxicidad de un ecosistema y establecer el peligro potencial que poseen los contaminantes que existen en él [Moiseenko y Kudryavtseva, 2001]. La presencia de lesiones en estructuras orgánicas de peces ha sido observada en ambientes contaminados por metales, así como en peces tratados experimentalmente con ellos [Arellano *et al*., 1999]. Numerosas alteraciones observadas en el sistema vascular y las malformaciones durante su desarrollo larvario han sido asociadas a procesos de contaminación (Crespo, 1993). Así, se han descrito numerosos efectos histopatológicos producidos por sustancias tóxicas en diferentes órganos de peces [Domitrovic, 2000; Cerqueira y Fernandes, 2002; Mazon *et al*., 2002; Ortiz *et al*., 2003; Monteiro *et al*., 2005; Vigliano *et al*., 2006; Oliva *et al*., 2007 y 2009]. Nuestros trabajos han evaluado la presencia del daño inducido por metales (Cu, Pb, As) en peces obtenidos en zonas costeras de Huelva y Cádiz, y mantenidos en el laboratorio, con la intención de encontrar biomarcadores moleculares útiles de este daño a diferentes niveles (actividades enzimáticas, cuantificación de daños celulares y genotoxicidad). Concretamente, nuestros datos muestran que en ambientes particularmente contaminados, estos metales en concentraciones subletales son capaces de generar lesiones histopatológicas, una importante actividad enzimática antioxidante y un elevado potencial genotóxico en los peces, incluso con concentraciones metálicas y tiempos de exposición mucho más bajas que las encontradas medioambientalmente, hasta tres veces más bajas que las establecidas por las agencias reguladoras. El registro de la actividad enzimática antioxidante de determinados tejidos animales, así como el uso de test de micronúcleos en células sanguíneas pueden considerarse unos biomarcadores de alerta temprana apropiados para monitorizar la toxicidad y genotoxicidad inducida por metales pesados en ambientes acuáticos naturales o artificiales.

Como muestra de nuestros estudios os dejamos con el siguiente trabajo de investigación inédito, realizado con una especie animal, *Carasius aurata* (L.).



Carassius Auratus

[1] Introducción

La polución en el medio acuático es un problema cada vez más serio y que va en aumento. Los organismos acuáticos, incluyendo peces, acumulan los xenobióticos del medio, directamente del agua contaminada o indirectamente a través de la cadena alimenticia (Ameur *et a*l., 2015), lo cual causa daños a nivel histológico y fisiológico que, en condiciones extremas, desencadenan su muerte. Por lo tanto, conservar el buen estado del medio acuático garantiza la supervivencia y conservación de las especies que lo habitan.

La presencia en el medio de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos es un tipo especial de degradación que se denomina contaminación. El contaminante, en general, tiene un efecto adverso sobre los organismos. Por su origen puede ser geogénico o antropogénico (Galán y Romero, 2008). Los efluentes industriales, la eliminación de aguas residuales, la lixiviación del suelo y la lluvia son los principales fuentes de metales pesados en el medio acuático (Arellano *et al*., 1999); además de la emisión de residuos domésticos o la aplicación de fertilizantes y pesticidas que favorecen la contaminación por metales pesados (Sánchez Moyano *et al*., 2005). Los metales son la causa principal de toxicidad en las masas de agua y constituyen un amplio grupo de contaminantes acuáticos por su capacidad bioacumulable y no degradable, además de su biodisponibilidad y su toxicidad (Velma y Tchounwou, 2010).

Entre los metales considerados muy tóxicos se encuentran Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Sb, Se, Sn, Te, Ti, y Zn (Galán y Romero, 2008). Muchos metales son esenciales para el crecimiento y desarrollo de plantas, animales y seres humanos, como son el Na, K, Ca, Fe, Zn, Cu, Ni, Mo, Se, V, Zn y Mn. Las dianas celulares principales del proceso toxicológico de los metales son las proteínas, las membranas celulares, orgánulos y ADN. Los efectos tóxicos de los metales pueden producirse por la interacción directa entre el ion metálico libre y su diana (Ferrer, 2003). Por otro lado, los metales pueden participar de forma directa o indirecta en la formación de Especies Reactivas del Oxígeno (en adelante, EROs), llevando a las células al estado de estrés oxidativo, lo cual se asocia con efectos tóxicos a diferentes niveles. Además, los metales pueden generar mutaciones (daño genotóxico) y la consiguiente carcinogénesis, debido a que estos se intercalan o forman uniones covalentes con el ADN sin ser reparado antes de la replicación (Javed *et al*., 2017).

El cobre, zinc, arsénico, plomo y cadmio son metales que se encuentran disueltos normalmente en el medio acuático y se encuentran definidos en las normativas de calidad de las aguas, tanto marinas como de ríos. Muchos de estos metales son absorbidos y acumulados por los peces e incorporados a la cadena trófica, causando problemas serios a la salud en los consumidores finales, como el hombre (Figueroa, 1998).

[1.1] El cadmio (Cd)

El cadmio es un elemento químico de número atómico 48 y masa atómica 111,40; su símbolo en la tabla periódica es Cd. Es un metal pesado, blanco azulado, dúctil y maleable. En algunos aspectos

puede ser muy similar al zinc. Su estado de oxidación más común es +2. Además, puede presentar el estado de oxidación +1, siendo muy inestable. El Cadmio es un metal traza, no es esencial en las funciones biológicas de los organismos, siendo tóxico para las plantas, los animales y los humanos en pequeñas concentraciones.

| 1.1.1 | El cadmio en el medio ambiente

El cadmio está considerado como uno de los 126 contaminantes principales por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (Waisberg *et al*., 2003). Este metal es uno de los principales agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental e industrial, pues reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico: a) efectos adversos para el hombre y el medio ambiente, b) bioacumulación, c) persistencia en el medio ambiente y d) dispersión (Ramírez, 2002).

El Cd puede alcanzar el medio ambiente de forma natural a través de los minerales del suelo, fuegos forestales, emisiones volcánicas, y actividades humanas como la minería, productos contenedores de metales, fertilizantes y por la combustión de gasolina. El cadmio puede producir efectos adversos debido a su alta toxicidad, incluso en baja concentración, y a su bioacumulación en la cadena alimenticia (Pereira *et al*., 2016). Este metal es más tóxico en agua dulce, ya que en agua salada forma compuestos que son menos biodisponibles para los organismos (Bradl, 2005).

La meteorización de la roca madre es la vía geogénica principal de liberación del Cd al ambiente. Por otra parte, el aumento y la mayor intensidad de la minería y otras actividades humanas, como fertilizantes o la industria electrónica son la actual causa de las elevadas concentraciones ambientales de cadmio (Gramlich *et al*., 2018). El Cd puede formar complejos solubles con sustancias húmicas provocando que no se reduzca su toxicidad como ocurre con otros metales. Por su parte, las fuentes principales del cadmio en el agua son los efluentes provenientes de fábricas de electrogalvanizados, petroquímicas y de la lixiviación de depósitos geológicos. Una de las principales formas de incorporación de este metal a la cadena alimentaría es a través de la dispersión en el suelo y aguas hasta las plantas y animales marinos. El ser humano incorpora al organismo aproximadamente un tercio del cadmio al que está expuesto con los alimentos de origen animal que consume y dos tercios de origen vegetal (Anton y Lizaso, 2001).

| 1.1.2 | Efectos tóxicos del cadmio en peces

El Cd representa un problema ecológicamente significativo debido a su capacidad de acumularse en organismos vivos y causar cambios morfopatológicos. El cadmio produce efectos similares en los peces y en los humanos, los cuales incluyen deformaciones del sistema esquelético y daño en el funcionamiento del riñón.

En peces se ha mostrado que se acumula principalmente en el riñón, hígado y branquias, causando cambios patológicos en los órganos citados (Giari *et al*., 2007). En peces expuestos al Cd se observaron cambios como hiperplasia del epitelio lamelar primario y secundario, separación del epitelio respiratorio, necrosis e hipertrofia epitelial, telangiectasia lamelar e hiperplasia de células cloro, encargadas de la captación y liberación de Ca y Cl para la osmorregulación (Arellano *et al*., 1999). En el hígado, se encontraron cambios en los hepatocitos como son cuerpos mieloides, daño en las mito-

condrias, dilatación del retículo endoplasmático y un número elevado de lisosomas y autofagosomas (Giari *et al*., 2007).

Tanto el Cd como el As, el Hg y el Pb tienen en común la capacidad de incrementar la producción de radicales libres y de disminuir la disponibilidad de reservas antioxidantes del organismo, convirtiendo al estrés oxidativo en un componente clave en las consecuencias fisiopatológicas generadas por estos metales (Jomova y Valko, 2011).

[1.2] Test de micronúcleos inducidos (MNi)

El ensayo de micronúcleos fue desarrollado por W. Schmid en 1975, e inicialmente se propuso para llevarlo a cabo en la medula ósea del ratón; posteriormente, la técnica se ha utilizado en una gran variedad de tejidos y especies, y en la actualidad se le utiliza ampliamente (Zúñiga y Gómez, 2006). El test de micronúcleos es un ensayo para determinar el daño genotóxico provocado por distintas sustancias químicas y elementos físicos. Mediante este test se puede determinar el daño causado por los agentes mutagénicos sobre los cromosomas, identificando cromosomas rezagados y/o fragmentos (Martínez, 2005). Los micronúcleos son aglomeraciones de cromatina que se parecen al núcleo principal y son vistos como pequeños núcleos en el citoplasma de las células. Es un tipo de núcleo de menor tamaño, en comparación con el que se encuentra habitualmente. Se puede identificar fácilmente a través de la microscopia óptica en las células después de obtener una muestra de sangre, previamente preparada y con tinción de Giemsa al 5%, facilitando observar la cantidad de micronúcleos presentes en los eritrocitos (Carranza, 2011).

[1.3] El estrés oxidativo

En las especies aerobias, aquellas que necesitan del oxígeno para poder realizar sus funciones vitales, durante el metabolismo aerobio se pueden generar moléculas muy toxicas llamadas Especies Reactivas de Oxígeno (en adelante, EROs) y que se caracterizan por ser compuestos altamente reactivos.

El estrés oxidativo ocurre cuando se genera un desequilibrio entre la generación de EROs y la capacidad antioxidante, pudiéndose crear un daño celular, desatar trastornos fisiológicos y propiciar que se produzcan sucesos patológicos (Yu, 1994). Las EROs se caracterizan por ser compuestos altamente reactivos, ya que poseen uno o varios electrones desapareados en su molécula.

| 1.3.1 | Las especies reactivas de oxígeno (EROs)

Las EROs pueden ser radicales libres y especies no radicales y se producen debido a alteraciones en la reducción tetravalente del oxígeno molecular (O_2) a agua (H_2O) en las mitocondrias. Así, se pueden formar distintos radicales del oxígeno parcialmente reducidos y altamente inestables (reacciones 1-4).

(1) Reducción univalente: $O_2 + e^- \rightarrow O_2^-$ (radical superóxido)

(2) Reducción bivalente: $O_2^- + e^- + 2H^+ + H_2O \rightarrow H_2O_2$ (peróxido de H)

(3) Reducción trivalente: $H_2O_2 + e^- + H^+ \rightarrow OH^\bullet$ (radical hidroxilo)

(4) Reducción tetravalente: $OH^\bullet + e^- + H^+ \rightarrow H_2O$

Los metales de transición con capacidad oxidorreductora como el Fe^{+2} o el Cu^+, pueden acelerar la generación de EROs al actuar como catalizadores de la reacción de Fenton (reacción 5) que a su vez está integrada en el ciclo de Haber-Weiss (reacción 6) (Halliwel, 2006).

(5) Reacción de Fenton: $Cu^{+2} + O_2^- \rightarrow Cu^{+1} + O_2$

$Cu^{+1} + H_2O_2 \rightarrow Cu^{+2} + O_2$

(6) Reacción de Haber-Weiss: $H_2O_2 + O_2^- \rightarrow OH + OH^\bullet + O_2$

(7) Reacción global: $Cu^{+2} + O_2^- + H_2O_2 \rightarrow Cu^{+2} + OH^\bullet + O_2$

El ion superóxido (O_2^-) es un radical libre, que en condiciones normales se produce en pequeñas cantidades en la cadena respiratoria aeróbica. Por otro lado, puede ser sustrato, metabolito intermediario o metabolito final de algunas reacciones enzimáticas. Los principales daños causados por el superóxido en sistemas biológicos son 1) la destrucción de centros metálicos de proteínas, 2) la oxidación de cadenas laterales de lípidos y aminoácidos y 3) la formación de otras especies reactivas, como el radical hidroxilo y el peroxinitrito (Jiménez *et al*., 2005). Su toxicidad es indirecta, ya que se fundamenta en que puede sufrir una conversión hacia otras especies derivadas del oxígeno que son muy reactivas y dañinas, tales como el radical hidroxilo ($OH^\bullet$).

El peróxido de hidrogeno (H_2O_2) no se considera un radical libre porque no posee electrones desapareados en su capa de valencia y, aunque es la forma menos reactivas de las EROs, presenta una serie de características que lo hacen especialmente relevante en el proceso de estrés oxidativo: 1) su vida media es de 1 milisegundo (ms), superior a la de otras EROs; 2) participa en numerosas reacciones que generan radicales libres; 3) tiene la capacidad de unirse a pequeñas moléculas como aminoácidos, nucleótidos y ácidos nucleicos; y 4) puede generar daño oxidativo en puntos de la célula alejados de su lugar de producción debido a que presenta carga eléctrica neutra, lo que le impide ser compartimentado por las células y le confiere la capacidad de atravesar fácilmente las membranas biológicas. Por otro lado, la peligrosidad del H_2O_2 también reside en que es precursor directo del radical hidroxilo, la especie reactiva de oxígeno más peligrosa que se conoce (reacción 3).

El radical hidroxilo ($OH^{\bullet}$) es una de las especies químicas más reactivas que se conocen. A temperatura celular (37°C), su vida media es aproximadamente de 9-10 segundos, inferior al de otras EROs, lo cual le impide interaccionar con moléculas alejadas de su lugar de producción. Por esta razón, el $OH^{\bullet}$ reacciona sin especificidad alguna oxidando moléculas próximas. La elevada reactividad que presenta, así como la inexistencia de mecanismos enzimáticos celulares que la eliminen, hacen que evitar su formación sea una estrategia muy importante (Vranová *et al*., 2002).

| 1.3.2 | El daño oxidativo

La peroxidación lipídica o lipoperoxidación es una constatación física del daño celular provocado por radicales libres y hace referencia a la degradación oxidativa de los lípidos. En este proceso, los radicales libres capturan electrones de los lípidos de las membranas celulares y en la mayoría de los casos afecta a los ácidos grasos poliinsaturados debido a que contienen múltiples dobles enlaces, entre los cuales se encuentran los grupos metileno (-CH2-) que poseen hidrógenos particularmente reactivos.

La peroxidación lipídica de membranas consiste en un proceso que se produce en tres fases fundamentales:

Fase I o iniciación: el proceso se inicia cuando las EROs, sobre todo el radical hidroxilo ($OH^{\bullet}$), extraen átomos de hidrógeno a las cadenas alifáticas de los ácidos grasos de las membranas celulares, provocando la formación de un radical lipídico bastante inestable ($R^{\cdot}$) y H_2O_2.

Fase II o propagación: en esta fase, el radical lipídico reacciona con oxígeno molecular, generándose radicales peroxilos, hidroperóxidos (ROOH), peróxidos cíclicos y radicales alcoxílicos lipofílicos.

Fase III o terminación: los radicales formados en la fase anterior, que tampoco son estables, pueden reaccionar con un nuevo ácido graso, dando lugar a un nuevo radical lipídico y a hidroperóxidos lipídicos. Así mismo, los hidroperóxidos (ROOH) pueden descomponerse en varias especies reactivas incluyendo aldehídos como el malondialdehído (MDA), alcanos, epóxidos lipídicos y alcoholes, constituyendo la mayoría tóxicos y mutágenos activos.

(1) $ROO^{\bullet\cdot} + R_1H \rightarrow ROOH + R_1$

(2) $R_1^{\bullet} + O_2 \rightarrow R_1OO^{\bullet}$

(3) $R_1OO^{\bullet\cdot} + R_2H \rightarrow R_1OOH + R_2^{\cdot}$

(4) $ROOH + Me^{+n} \rightarrow RO^{\bullet\cdot} + Me^{+(n-1)}$

(5) $ROOH + Me^{+(n-1)} \rightarrow R_1OO^{\bullet} + Me^{+n}$

Otro de los efectos deletéreos principales derivados del estrés oxidativo es el daño genotóxico. El daño oxidativo da lugar a la modificación química de las bases. El material genético tiene zonas con un alto grado de susceptibilidad para el ataque por $OH^{\bullet}$, incluyendo las bases nitrogenadas y el esqueleto azúcar-fosfato. Así, este radical es responsable de la hidroxilación, de la apertura del anillo y de la fragmentación del DNA (Kelly *et al*., 1998), lo que tiene serias consecuencias en el desarrollo de mutaciones y carcinogénesis, o en la alteración de la expresión de genes (Rodríguez-Perón *et al*., 2001).

| 1.3.3 | El sistema antioxidante

A lo largo de la evolución los organismos han desarrollado mecanismos de defensa frente al estrés oxidativo. Estos mecanismos intentan prevenir la producción de EROs, detener o retardar la reacción de oxidación en cadena inducida por éstas y reparar los daños que causan a las macromoléculas. Estos mecanismos antioxidantes pueden diferenciarse en dos grupos: de tipo enzimático y no enzimático.

El sistema antioxidante enzimático constituye la primera y mejor línea de defensa contra los radicales libres. Está compuesto por una gran variedad de actividades enzimáticas capaces de desactivar selectivamente diferentes tipos de EROs, entre las que destacan la superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT). Entre los antioxidantes no enzimáticos se encuentran moléculas como la vitamina E, vitamina C (ácido ascórbico), el glutatión (GSH, que se encuentra en el citosol y las mitocondrias) y los carotenoides.

La actividad SOD reside en una familia de metaloenzimas de muy alta eficiencia catalítica que eliminan el ion superóxido (O_2^-). El principal proceso del que toma parte es en la catalización de una reacción de dismutación donde una molécula de O_2^- se oxida hasta O_2 molecular, mientras que la otra se reduce a H_2O_2.

$$2O_2\text{-} \; (O_2\cdot + O_2\cdot) + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$$

La CAT es una enzima que cataliza la reacción del H_2O_2 a H_2O. Se puede encontrar en prácticamente todos los órganos, sobre todo en el hígado y en eritrocitos. Constituye una hemoproteína en la que el átomo de hierro realiza un intercambio redox con una alta eficacia catalítica (Lee *et al.,* 2018).

$$2H_2O_2 \rightleftharpoons 2\,H_2O + O_2$$

[1.4]
El cadmio y el estrés oxidativo en peces

En general, el efecto tóxico de los metales está mediado por la inducción de la producción de EROs, bien de forma directa, como resultado del ciclo redox, o indirecta por la inactivación de los captadores de metales y por la inactivación de las enzimas antioxidantes (McRae *et al.*, 2016). Por lo tanto, la alteración de las actividades antioxidantes normales, la peroxidación lipídica y el daño genotóxico derivado como resultado de estrés oxidativo, son usados como buenos biomarcadores para monitorizar la presencia de metales u otros xenobióticos en el medio ambiente en general y, en particular, en el medio acuático mediante el uso de peces (Ramírez-Duarte *et al.*, 2017).

El cadmio no es un metal activo del ciclo redox. Sin embargo, está involucrado en la formación de EROs. Uno de los posibles mecanismos puede ser el incremento indirecto de las EROs, a través del desplazamiento de iones como el hierro y el cobre, de esa forma, Fe y Cu quedan libres para la formación de EROs por la reacción de Fenton (Jomova y Valko, 2011). Además, este metal actúa como un análogo del Ca, compitiendo con éste para ser absorbido a través del mecanismo de absorción de alta afinidad de Ca presente en las branquias (MacDonald *et al.*, 2002).

En la FIGURA 06-1, se esquematizan los principales efectos tóxicos inducidos por el cadmio a nivel celular. Algunos autores mencionan que el cadmio no es directamente genotóxico (IARC, 1993; Dally y Hartwig, 1997), sino que induce estrés oxidativo mediante mecanismos indirectos, como el descenso de antioxidantes celulares y la liberación de especies reactivas de oxígeno en la mitocondria (Waisberg *et al.*, 2003). Varios autores han descrito la capacidad del ion cadmio para inducir especies reactivas de oxígeno en distintos tipos de células (Koizumi *et al.*, 1996; Thevenod *et al.*, 2000; Almazan *et al.*, 2000). La intensificación del metabolismo oxidativo da lugar a la generación del radical superóxido, el cual puede transformarse por conversión enzimática o espontánea a peróxido de hidrógeno que, a través de la reacción de Fenton puede generar el radical hidroxilo, altamente tóxico (Romero *et al.*, 2008).

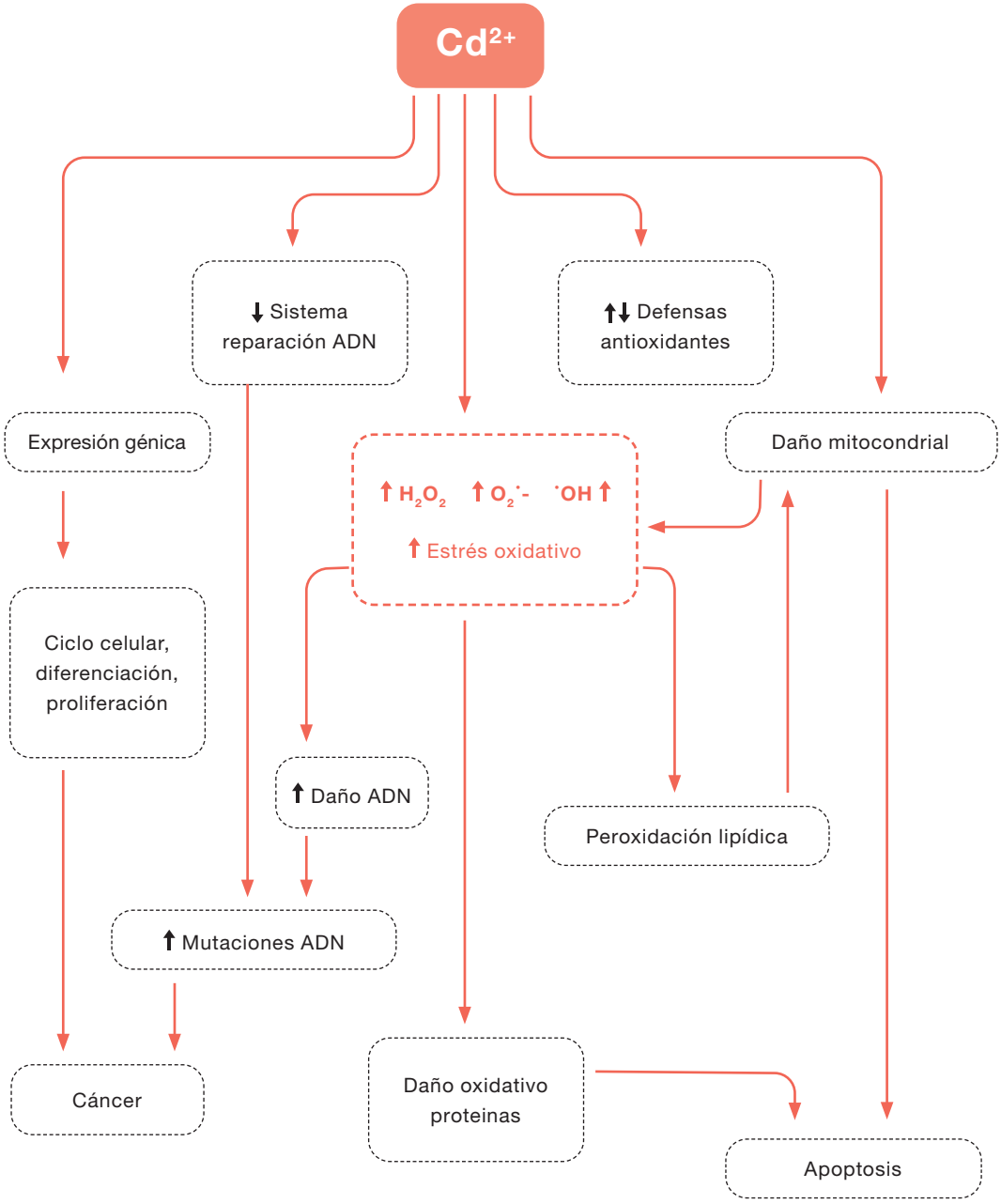
De manera que el cadmio es capaz de inducir la producción de una gran variedad de especies reactivas de oxígeno, incluyendo O_2^-, H_2O_2 y $OH^\bullet$. Esto proporciona la principal explicación de la toxicidad celular de este metal pesado (Romero *et al.*, 2008). El mecanismo por el cual el cadmio inicia la formación de EROs puede deberse fundamentalmente a que este metal provoca un descenso intracelular del contenido de glutatión y reduce la actividad de los enzimas antioxidantes, permitiendo la acumulación de EROs y un incremento del estrés oxidativo intracelular (Waisberg *et al.*, 2003). Por este motivo, la exposición de especies al cadmio afecta el ADN celular e intensifica el estrés oxidativo (Romero *et al.*, 2008).

El cadmio, al igual que otros metales pesados, como el plomo y mercurio, presenta una elevada neurotoxicidad (Pohl *et al.*, 2006). Atraviesa la barrera hematoencefálica (Murphy, 1997) y puede acumularse en distintas regiones cerebrales (Lafuente *et al.*, 2003; Ong *et al.*, 2006). La neurotoxicidad asociada a la exposición al cadmio podría ser debida al efecto global de una serie de pequeñas perturbaciones en el metabolismo cerebral, y del estrés oxidativo en particular, ya que este metal parece intensificar la peroxidación lipídica a través de la inhibición de la superóxido dismutasa (SOD) y otros enzimas relacionados (Gutiérrez-Reyes *et al.*, 1998). Por otro lado, el aumento de especies reactivas de oxígeno puede conllevar diversas perturbaciones fisiológicas: mayor permeabilidad de la barrera hematoencefálica, alteraciones en la transmisión sináptica, etc. (Evans, 1995).

FIGURA 06-1

Esquema general de los efectos tóxicos del cadmio a nivel celular

FUENTE: magen tomada de: Repetto, G., Bejarano, A. & Jiménez, M. (2008). *La regulación de la protección frente al riesgo por agentes físicos*. Revista de Toxicología. pp. 25.



[1.5] Los peces en la biomonitorización ambiental

El uso regular o sistemático de organismos vivos para evaluar los cambios producidos en el medio ambiente o en la calidad del agua recibe el nombre de monitorización biológica o biomonitorización (De Zwart, 1995). En el caso de ecosistemas acuáticos, debido a que los metales pesados pueden bioacumularse en órganos y tejidos de los organismos vivos y causar efectos nocivos sin que en el medio se sobrepasen los valores límites establecidos, este tipo de monitorización resulta mucho más real y eficiente.

Los peces son considerados excelentes bioindicadores de la calidad del medio acuático y por ello son ampliamente utilizados en los ensayos ecotoxicológicos que evalúan las respuestas biológicas y bioquímicas de los organismos frente a los contaminantes ambientales (Powers, 1989). El hecho de que aparecen ampliamente extendidos en el medio acuático, estando presentes en la mayoría de ambientes, incluso en los más contaminados, los hacen modelos idóneos para la monitorización del medio. Resulta interesante que presentan respuestas biológicas frente a la contaminación similares a las de mamíferos y que pueden afectar a la salud humana a través de la cadena alimenticia. Además, juegan un papel fundamental en la cadena trófica acuática, ya que son portadores de energía de niveles tróficos superiores e inferiores (incluyen diferentes niveles tróficos) (Beyer, 1996). A ello hay que sumar que son muy sensibles a pequeños cambios ambientales, pero también presentan una rápida capacidad de recuperación cuando las perturbaciones desaparecen (Bhattacharya *et al.*, 2007). Finalmente, en términos económicos y biológicos se pueden reducir los costos mediante el uso de pequeños peces de acuario en estudios de toxicidad (Domitrovic, 1997), los cuales presentan diferentes patrones de acumulación, dependiendo del metal, de la concentración en el medio y del tiempo de exposición (Eisler *et al.*, 1972).

En este sentido, los estudios de campo y laboratorio anteriores han demostrado que distintos tipos de marcadores enzimáticos y genéticos en distintas especies de peces podrían ofrecer un buen modelo como biomarcadores fiables para la vigilancia de la contaminación por metales en el medio acuático. Los estudios de evaluación de la toxicidad del Cd en peces son muy escasos en comparación con los correspondientes a otros metales. Por tanto, parece oportuno su abordaje pues, entre otros aspectos, podría ayudar a desarrollar procedimientos de monitorización ambiental de este metal en el medio acuático.

[2] Objetivos

El objetivo principal de este trabajo consistió en evaluar los efectos tóxicos tempranos que el cadmio tiene sobre los peces de la especie *Carassius auratus* (L.), mediante el desarrollo de bioensayos de laboratorio con Cd a diferentes concentraciones analizando los biomarcadores de exposición y de efecto.

Para ello, se establecieron los siguientes objetivos específicos:

a) **Realizar un seguimiento y detección** histológica de la bioacumulación cualitativa del Cd en diferentes tejidos (branquias e hígado).

b) **Evaluar la inducción de daño genotóxico** mediante el ensayo de micronúcleos en eritrocitos de sangre periférica.

c) **Evaluar el estrés oxidativo** y los mecanismos de respuesta antioxidante inducida por el cadmio:

   c1) Evaluar el daño oxidativo mediante medidas de peroxidación lipídica (hidroperóxidos) en dos órganos diferentes, branquias e hígado, de Carassius auratus (L.).

   c2) Analizar las actividades enzimáticas antioxidantes superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT) en branquias e hígado.

[3] Material y Métodos

[3.1] Ensayos de toxicidad con cadmio (Cd) en laboratorio

El estudio se llevó a cabo con peces de la especie *Carassius auratus* (L) en estadio adulto [FIGURA 06-2]. Se emplearon tanques de material de vidrio de 15 litros de capacidad.

Antes del inicio del tratamiento, los peces fueron aclimatados durante 24 horas sin alimentación tras lo cual se comenzaron los bioensayos. Las condiciones del ensayo fueron las siguientes: los tanques fueron llenados con 10 L de agua dulce, la temperatura del agua fue de 24°C promedio, con oxigenación constante, sin recambio de agua durante el bioensayo y se utilizaron 9 peces por estanque de tratamiento.

Según estudios previos y de acuerdo a la literatura, los animales se expusieron a diferentes concentraciones de cadmio durante 96 horas, teniendo un tanque control:

a) Tratamiento 0 (Control): Peces expuestos a una concentración de **0,0 mg/L de $CdCl_2$**

b) Tratamiento 1: Peces expuestos a una concentración de **0,01 mg/L de $CdCl_2$**

c) Tratamiento 2: Peces expuestos a una concentración de **0,1 mg/L de $CdCl_2$**

d) Tratamiento 3: Peces expuestos a una concentración de **1 mg/L de $CdCl_2$**

FIGURA
06-2

Tanques para bioensayos de exposición a distintas concentraciones de cadmio con peces *Carassius auratus (L).*



[3.2]
Extracción y preparación de las muestras biológicas.

Se seleccionaron al azar individuos del control y de cada concentración para la extracción y procesamiento de las muestras que se utilizaron en los análisis de histología, bioquímica y micronúcleos. Una vez concluido el período de exposición, los peces fueron anestesiados a través de una dosis de 0,1% de 2-phenoxyethanol, posteriormente se midieron y pesaron. Después, fueron sacrificados y se les extrajo sangre del pedúnculo caudal. El mantenimiento de los peces y los procedimientos experimentales se llevaron a cabo teniendo en cuenta la Directiva CEE 86/609 (Guía de uso y cuidado de animales de laboratorio).

A continuación se tomaron muestras biológicas del hígado y de las branquias que se fijaron en formol (pH 7,2) para la realización de los estudios histológicos. Paralelamente, otras muestras se congelaron a -80ªC y se procesaron sin fijar, para el estudio biomarcadores de estrés oxidativo. A continuación, se especifican las preparaciones más detalladamente.

| 3.2.1 | Fijación, inclusión en parafina y sección para estudios histoquímicos

Se seleccionaron 3 peces por tratamiento para los análisis histológicos, muestras de hígado y branquias de estos peces fueron fijadas en formol tamponado a pH 7,2 durante 24 horas. Después de ello, fueron lavadas durante dos horas en agua corriente. Se inició entonces el proceso de deshidratación con alcohol 70% por 24 horas, se realizó un lavado rápido con alcohol 70% y se dejaron en alcohol 90% por toda una noche. Al otro día, se realizó 3 baños en alcohol 100% por 1 hora cada uno, posteriormente 2 baños de benceno (Xilol) de 30 min cada uno. A continuación, se llevó a cabo un baño de benceno/parafina (1:1) durante 4 horas a 60°C, desde esta etapa los baños se realizaron en la estufa para lograr mantener la temperatura, posteriormente un baño en parafina 100% durante 3 horas a 60°C, un segundo baño en parafina 100% durante toda la noche a 60°C y un último baño en parafina 100% durante 3 horas a 60°C. Se siguió esta metodología descrita por Bancroft *et al*. (1990).

Finalmente, se prepararon los bloques y se dejaron secar a temperatura ambiente por 24 horas. Por último, los bloques de parafina se tallaron manualmente y se realizaron cortes de 5 micras de espesor que se obtuvieron con un microtomo Jung RM 2025 (Leyca).

| 3.2.2 | Tinciones

Se realizaron dos tinciones diferentes. Por un lado, la de Hematoxilina-Eosina siguiendo la metodología descrita por Luna (1968). Esta tinción se utilizó para observar la estructura histológica de branquias e hígado de los peces estudiados. La hematoxilina es un colorante básico y esta característica genera que tenga afinidad por estructuras ácidas como es el núcleo celular, por otro lado, la eosina es un colorantes ácido lo que genera que tenga afinidad por estructuras básicas como el citoplasma celular. Para la aplicación de la Hematoxilina-Eosina, primero a los cortes se les procedió a eliminar la parafina, se mantuvieron en un baño de Xilol por 30 min, posteriormente dos baños de alcohol al 100% y 90% por 15 minutos, un baño de alcohol de 70% por 10 minutos y dos baños en agua corriente y destilada por 10 minutos cada uno. Una vez concluidos los baños, se procedió a aplicar la tinción de Hematoxilina por 20 minutos, pasado este tiempos se lavó la muestra con agua corriente y se le agregó la Eosina por 5 minutos, concurrido este tiempo se procedió a lavar nuevamente las muestras y se continuó con la deshidratación con alcohol y Xilol para su posterior montaje con bálsamo de Canadá.

La tinción con Ditizona se utilizó para observar cambios a nivel celular generados por el Cd. Esta técnica fue desarrollada por Seregin e Ivanov (2001), y mejorada por Vieira da Cunha *et al*., (2008), basada en la capacidad de la Ditizona para producir un compuesto de color rojizo después de reaccionar con algún metal en este caso el cadmio. Para la aplicación de la Ditizona primero a los cortes se les procedió a eliminar la parafina, se mantuvieron en un baño de Xilol por 30 min, posteriormente dos baños de alcohol al 100% y 90% por 15 minutos, un baño de alcohol de 70% por 10 minutos y dos baños en agua corriente y destilada por 10 minutos cada uno. Una vez concluidos los baños, se procedió a aplicar la tinción de Ditizona por 90 minutos y se continuó con el montaje, las muestras fueron montadas con glicerina para su posterior observación con microscopia óptica.

En el presente estudio, el cadmio ha sido el único metal agregado al agua en los distintos tratamientos, por lo que se supone que cualquier cambio en las tinciones histológicas entre las muestras

biológicas de los individuos control y tratados se debe al efecto del cadmio. Las secciones fueron analizadas en microscopía óptica y las imágenes fueron digitalizadas para su posterior análisis.

[3.3] Ensayo de micronúcleos inducidos (MNi).

Se evaluó la frecuencia de micronúcleos inducidos (MNi) en los eritrocitos de sangre obtenida de la aleta caudal de cada pez. La preparación de los portaobjetos y los criterios de evaluación e identificación para MNi se realizaron como se describe en Cavas *et al.,* (2005). Brevemente, después de que los peces fueran anestesiados y sacrificados, se extrajeron muestras de sangre periférica de la aleta caudal y se realizó una extensión en un portaobjeto, se fijaron con etanol puro durante 20 minutos y una vez secos se tiñeron con solución de Giemsa al 5% durante 30 minutos. Se utilizó bálsamo de Canadá para el montaje de las muestras. Solo se evaluaron las células (eritrocitos) claramente aisladas de las células circundantes. Los criterios para la identificación de micronúcleos fueron los siguientes:

a) MNi deben ser más pequeños que un tercio del tamaño de los núcleos principales.
b) MNi debe estar claramente separados de los núcleos principales.
c) MNi debe estar en el mismo plano de enfoque y tener el mismo color que los núcleos. La frecuencia de los micronúcleos se evaluó mediante la observación de los portaobjetos con un aumento de x1000 utilizando el microscopio óptico Leica DM 2500 y se expresó como el número de MNi/1000 células para al menos 18.000 células por tratamiento (2000 cel/ individuo).

Para evitar la generación de un sesgo en la evaluación de los micronúcleos, las muestras fueron codificadas por una persona diferente a la que realizó el conteo de los micronúcleos.

[3.4] Evaluación de los parámetros bioquímicos

| 3.4.1 | Homogenización y extracción de la fracción subcelular de los órganos.

Los análisis bioquímicos llevados a cabo en el estudio se realizaron a partir de una fracción subcelular, la cual se obtuvo mediante un proceso de troceado y homogeneización (mediante el T10 Basic ULTRATURRAX ®), siempre en contacto con hielo, en presencia de un tampón homogeneizador (tampón fosfato 0.1 M, pH 7.4, KCl 1,2%). Posteriormente, el homogeneizado se centrifugo a 10.000g durante 30 min a 4ºC quedando un sobrenadante que se alícuota y finalmente se conservó a -80ºC hasta su uso en los ensayos bioquímicos.

| 3.4.2 | Evaluación de los Niveles de Hidroperóxidos

El proceso se llevó a cabo siguiendo el método descrito en Gay y Gebicki (2000), utilizando 50 µL de muestra (sobrenadante resultante del centrifugado) mezclado con 950 µL de reactivo FOX (Ferric-Xilenol Orange). El reactivo está compuesto por: Ácido sulfúrico 25 mM; Xilenol-Orange: 400 µL

en 200 mL de disolución; Sorbitol 100 mM; Sulfato Amónico de Fe (II) 250 µM. La mezcla se incubó durante unos 45 minutos y se dejó reposar.

Posteriormente, se midió la absorbancia a 560 nm en cubetas de plástico, con las muestras en dilución de 1/20, y con un coeficiente de extinción de $2{,}67 \times 10^5$ $M^{-1}cm^{-1}$. Se utilizó el espectrofotómetro DU 800 Beckman Coulter.

| 3.4.3 | Evaluación de la Actividad Catalasa (CAT: EC 1.11.16)

La medida de la actividad catalasa se realizó siguiendo el método descrito en Aebi (1983). La mezcla de reacción contenía 2740 µL de tampón fosfato potásico 100 mM (pH 7), 250 µL de H_2O_2 y 10 µL de muestra en hígado y 40 µL de muestra en branquias, en un volumen final de 3 mL.

Las medidas se llevaron a cabo mediante un espectrofotómetro durante 30s cada una en las muestras de hígado y 45s para las muestras de branquias, a una longitud de onda de 240 nm. La actividad catalasa fue calculada en términos de nanomoles de H_2O_2 consumidos por minuto y mg de proteína (nmol H_2O_2 min^{-1} mg proteína). El coeficiente de extinción utilizado fue de 43,5 $M^{-1}cm^{-1}$. Se utilizó el espectrofotómetro DU 800 Beckman Coulter.

| 3.4.4 | Evaluación de la Actividad de Superóxido Dismutasa (SOD: EC 1.15.11)

Esta medida se realizó siguiendo una modificación de la metodología expuesta en McCord y Fridovich (1969). Este método se basa en la capacidad de la SOD de inhibir la reducción del NBT mediada por el O_2^- generado por el sistema de la Xantina oxidasa.

La mezcla de reacción contenía: Tampón fosfato potásico 50 mM; EDTA 5 mM a pH= 7.8; Xantina 50 mM; NBT 1 mM; Xantina oxidasa 5.4 U^2/mL 50 µL; Muestra de 50 µL. La reacción se inició mediante la adición de la xantina oxidasa. Para alcanzar la velocidad máxima se llevó a cabo una incubación de un minuto, después de este tiempo se llevó a cabo la medida a 560 nm durante 30 segundos sin muestra, y a continuación con muestra para cuantificar el grado de inhibición. Así, la reducción del NBT en ausencia de muestra se empleó como referencia o control.

Una unidad de actividad SOD constituye la cantidad de enzima que produce un 50% de inhibición del control (donde la muestra es sustituida por el tampón). Se utilizó el espectrofotómetro DU 800 Beckman Coulter.

| 3.4.5 | Medida de la Cantidad de Proteínas

El procedimiento se realizó siguiendo el método descrito en Bradford *et al.*, (1976). Este procedimiento permite determinar la cantidad de proteína mediante un procedimiento colorimétrico. Se procedió a realizar una mezcla conformada por: Muestra 20 µL; NaOH 50 µL; Reactivo Bradford 1000 µL.

La mezcla resultante se agitó y se dejó reposar durante 5 min. Posteriormente se pasó a medir en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 590 y 450 nm. Se construyó una recta de calibrado con BSA (Albumina de suero Bovino) 1 mg/ml. Se utilizó el espectrofotómetro DU 800 Beckman Coulter.

[3.5]
Análisis estadístico

Los resultados de los micronúcleos y los parámetros bioquímicos se presentan como la media ± la desviación típica (SD). La normalidad fue comprobada mediante el test de Kolmorov-Smirnoff. Para la comparación de medias entre los grupos experimentales se utilizó un análisis de varianza no paramétrico, de Kruskal-Wallis, seguido del test post hoc de Dunn. Para ello, se utilizó el paquete estadístico SPSS 20 (IBM).

[4]
Resultados

[4.1]
Características morfológicas de los peces estudiados

En la TABLA 06-1 que se muestra a continuación, se presentan los valores medios de las tallas totales, tallas estándar y pesos de los individuos *Carassius auratus (L)* utilizados en el experimento de toxicidad de cadmio, distribuidos en los distintos tratamientos experimentales.

En total, los peces utilizados en los experimentos mostraron unas tallas totales medias de 8,0 ± 1,0 cm, una talla estándar media 4,9 ± 0,7 cm y un peso medio 3,3 ± 0,9 g. No se observó diferencias en la morfología de los peces estudiados entre los grupos experimentales.

TABLA 06-1

Datos de tallas y pesos de peces adultos de *Carassius auratus* (L.) para los diferentes grupos experimentales en el estudio de toxicidad de Cd. Los datos se presentan como las medias ± SD.

Tratamiento	mg/L de $CdCl_2$	N° de peces	Talla Std (cm)	TallaTotal (cm)	Peso (g)
Control	0	9	4,5±0,6	7,7±0,6	2,9±0,8
T1	0,01	9	5,4±0,5	8,5±0,9	3,5±0,8
T2	0,1	9	5,3±0,5	8,5±1,0	3,8±0,9
T3	1	9	4,6±0,6	7,4±1,0	2,9±0,9
	Total =	36	4,9±0,7	8,0±1,0	3,3±0,9

[4.2]
Identificación histoquímica de la disposición de cadmio en hígado y branquias

De las imágenes obtenidas para la histología se pudo observar hígado [FIGURAS 06-3, 06-5, 06-6 Y 06-7] y branquias [FIGURAS 06-4 Y 06-8] de *Carassius auratus* (L). Se obtuvieron cortes de los peces sometidos a los tres tratamientos de $CdCl_2$ y el control. De los peces control se observa hígado y branquias en condiciones normales, se identifican claramente los hepatocitos en el hígado, además de arteriola [FIGURA 06-5] y vénulas normales [FIGURA 06-6]. Además, se pueden observar branquias normales, identificando claramente arco branquial, láminas y laminillas branquiales [FIGURA 06-4]. En los peces control no se observó tinción con Ditizona de los hepatocitos en hígado [FIGURA 06-7], ni de las células epiteliales en branquias [FIGURA 06-8].

En el caso de los peces expuestos a las tres concentraciones distintas de $CdCl_2$ se pudo observar coloración marrón en células del hígado (hepatocitos) [FIGURAS 06-9, 06-11 Y 06-13] y células branquiales periféricas [FIGURAS 06-10, 06-12 Y 06-14]. Estos cambios en la coloración celular se deben a la capacidad de la Ditizona para producir un compuesto de color rojizo después de reaccionar con metales, como el cadmio, presentes en el interior de las células.

FIGURA 06-3

Histomorfología de hígado normal
Control. Aumento: 40x Tinción: Hematoxilina-Eosina.

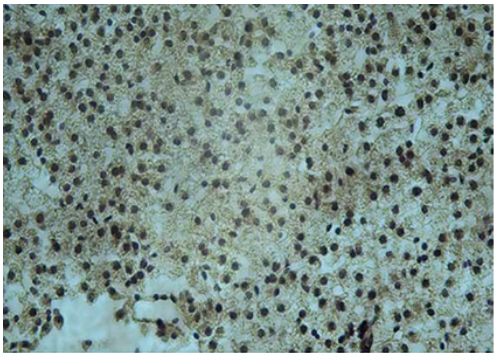


FIGURA 06-4

Histomorfología de branquias
Las flechas señalan laminillas branquiales. Control. Aumento: 40x Tinción: Hematoxilina-Eosina.

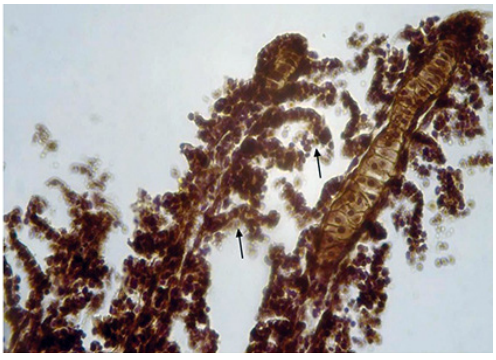


FIGURA 06-5

Histomorfología de hígado

Hepatocitos normales (flechas amarillas). Arteriola con células sanguíneas en su interior (flecha roja). Control. Aumento: 40x Tinción: Hematoxilina-Eosina.

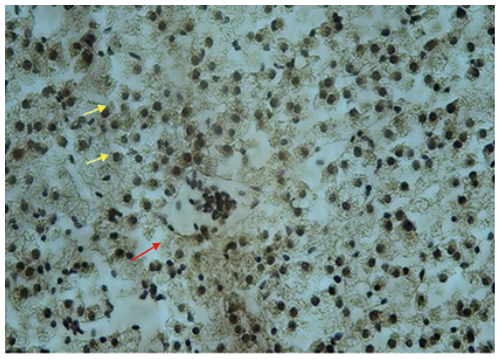


FIGURA 06-6

Histomorfología de Hígado

Flecha roja: vénula con células interior. Control. Aumento: 40x Tinción: Hematoxilina-Eosina

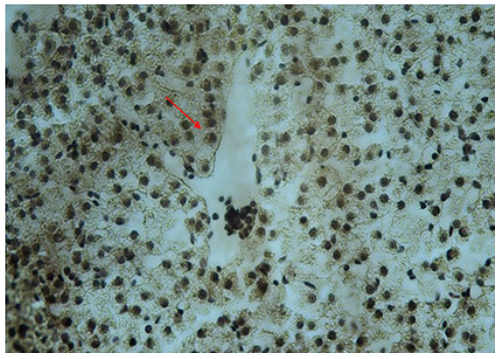


FIGURA 06-7

Histomorfología de hígado

Control. Aumento: 40x Tinción específica con Ditizona.

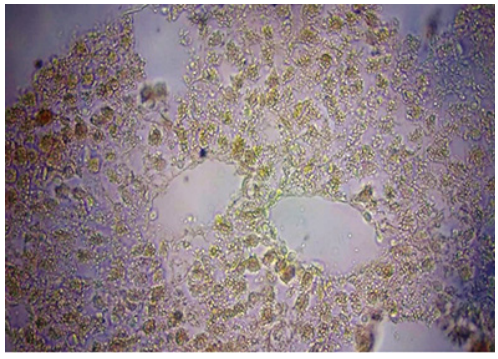


FIGURA 06-8

Histomorfología de branquias

Control. Aumento: 40x Tinción específica con Ditizona

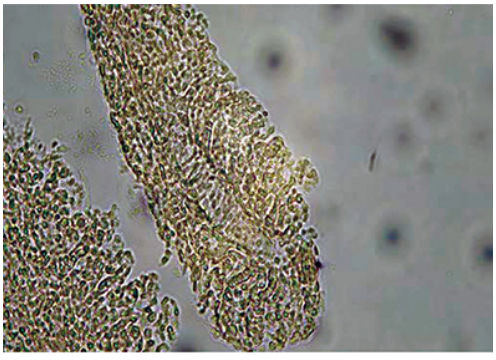


FIGURA 06-9

Histomorfología de hígado

Se identifica la tinción de hepatocitos ennegrecidos debido a la presencia de cadmio (flechas). Tratamiento 1 (0,01 mg/L). Aumento: 40x. Tinción específica con Ditizona.

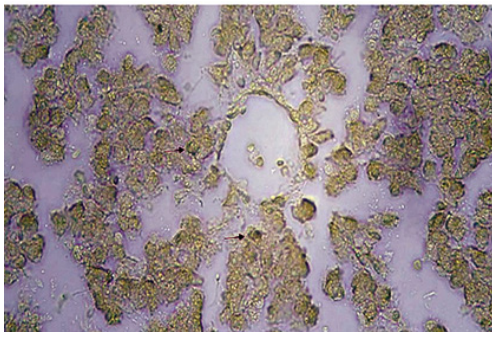


FIGURA 06-10

Histomorfología de branquias

Se identifica la tinción de células epiteliales ennegrecidas de las laminillas debido a la presencia de cadmio (flechas). Tratamiento 1 (0,01 mg/L). Aumento: 40x. Tinción específica con Ditizona.

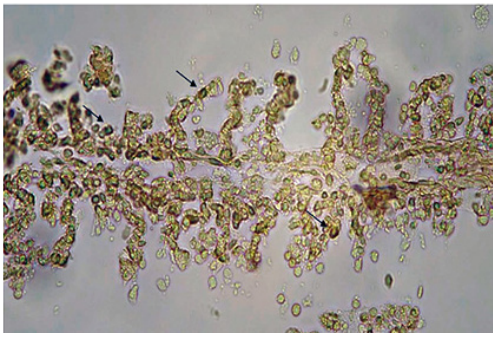


FIGURA 06-11

Histomorfología de hígado

Se identifica la tinción de hepatocitos ennegrecidos debido a la presencia de cadmio (flechas). Tratamiento 2 (0,1 mg/L). Aumento: 20x. Tinción específica con Ditizona



FIGURA 06-12

Histomorfología de branquias

Se identifica tinción de células ennegrecidas de las laminillas periféricas debido a la presencia de cadmio (flechas). Tratamiento 2 (0,1 mg/L). Aumento: 40x. Tinción específica con Ditizona.

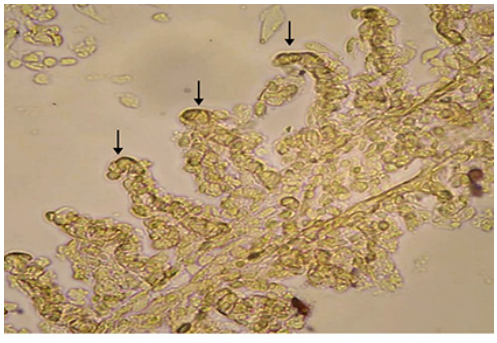


FIGURA 06-13

Histomorfología de Hígado

Se identifica la tinción de hepatocitos ennegrecidos debido a la presencia de cadmio (flechas). Tratamiento 3 (1 mg/L). Aumento 20x. Tinción específica con Ditizona

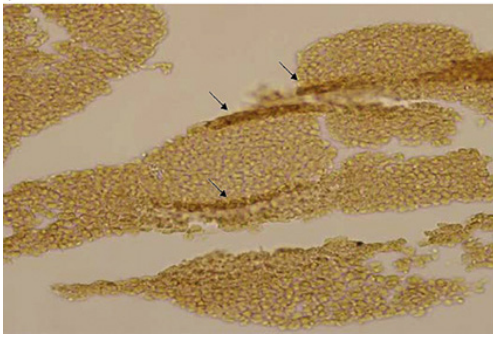
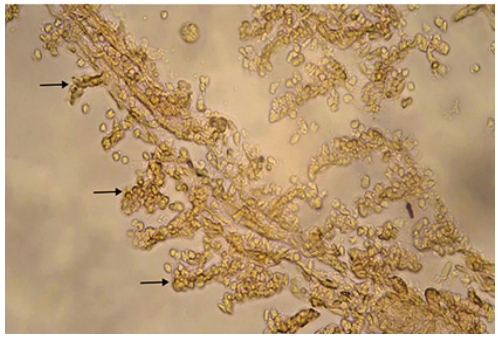


FIGURA 06-14

Histomorfología de branquias

Se identifica la tinción de células ennegrecida de las laminillas periféricas debido a la presencia de cadmio (flechas). Tratamiento 3 (1 mg/L). Aumento: 40x Tinción específica con Ditizona.



[4.3] Ensayo de micronúcleos inducidos (MNi)

Como se muestra en la FIGURA 06-15, al cabo de las 96 horas de exposición a las diferentes concentraciones de cadmio se observa una tendencia hacia el incremento en el número de micronúcleos asociado al aumento en la concentración de cadmio en el agua, con una dosis-dependencia significativa desde la concentración más baja de $CdCl_2$ usada (0,1 mg/L), donde los niveles de MNi contabilizados resultaron estadísticamente diferente del grupo control.

En la sangre periférica, extraída de la aleta caudal de *Carassius auratus (L),* para el análisis de MNi mediante microscopía óptica, se pudo observar a los eritrocitos normales [FIGURA 06-17] con un núcleo central de forma elíptica y con contornos definidos. Además, y con frecuencias muy reducidas, también se detectaron eritrocitos que presentaban algunas alteraciones en la morfología nuclear, eritrocitos con brotes nucleares "*nuclear buds*" [FIGURAS 06-17 Y 06-18], pero para este estudio solo se consideraron eritrocitos con micronúcleos bien definidos según los parámetros descritos en la metodología [FIGURAS 06-16, 06-17 Y 06-18].

FIGURA 06-15

Frecuencia de micronúcleos (MNi) inducidos por cadmio en peces *Carassius auratus (L).*
Después de 96 horas de exposición.
Los datos se muestran como media ± SD, n=12. (*): p<0,01vs Control, T1 y T2.

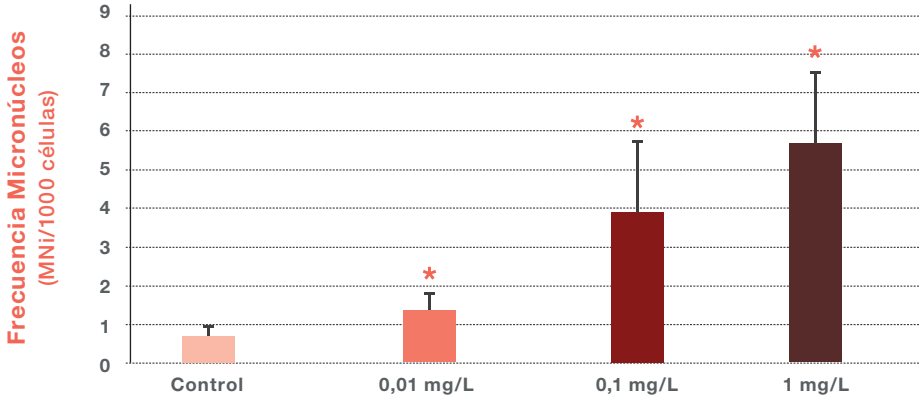


FIGURA 06-16

Eritrocitos de sangre periférica de *Carassius auratus (L.),* (flechas) Eritrocitos con micronúcleos.
Aumento: 100x. Tinción: Giemsa 5%.

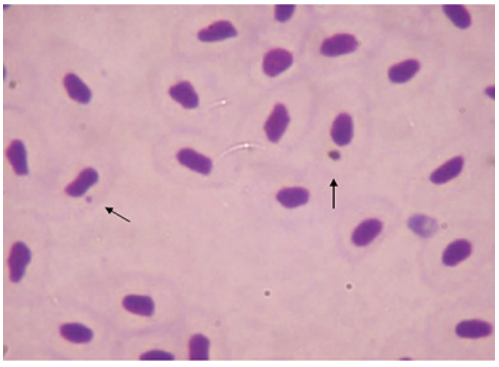


FIGURA 06-17

Eritrocitos de sangre periférica de *Carassius auratus (L.),* (flechas negras) Eritrocitos normales, (flechas rojas) Eritrocitos con “nuclear buds”.
Aumento: 40x. Tinción: Giemsa 5%.

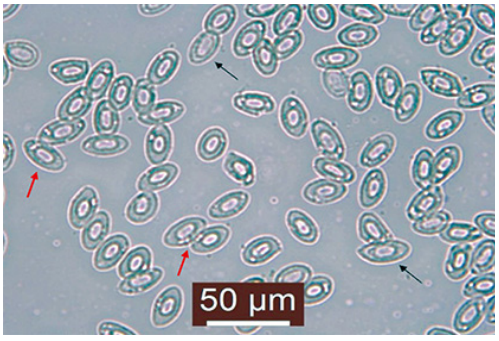
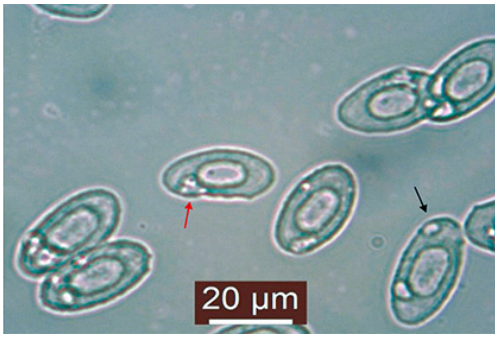


FIGURA 06-18

Eritrocitos de sangre periférica de *Carassius auratus (L.),* (flecha negra) Eritrocito con micronúcleos, (flecha roja) Eritrocito con "*nuclear buds*". Aumento: 100x. Tinción: Giemsa 5%.



[4.4] Evaluación bioquímica de biomarcadores de estrés oxidativo

| 4.4.1 | Efecto del cadmio sobre los niveles de Hidroperóxidos (ROOH)

Los hidroperóxidos (ROOH) son productos generados durante el ataque oxidativo a moléculas como lípidos y proteínas; especialmente, en la reacción en cadena de radicales libres que tiene lugar durante la peroxidación lipídica de las membranas. Por tanto, la medida de éstos constituye un marcador de daño oxidativo en las membranas celulares. Se utilizó el método FOX (Fe-orange xilenol) (Gay y Gebicki, 2000) para la cuantificación de los niveles de hidroperóxidos.

Como se puede observar en las FIGURAS 06-19 Y 06-20, tras 96 horas de exposición a las distintas concentraciones se observó un aumento significativo con la mayor concentración de 1 mg/L de cad-

FIGURA 06-19

Niveles de hidroperóxidos (ROOH) en branquias de *Carassius auratus (L.),* expuestos a tratamientos con diferentes concentraciones de cadmio (0, 0.01, 0.1 y 1 mg/L en el agua) durante 96 horas. Se muestra la media ± SD, n=9. (*): p<0.01 vs. Control, T1 y T2.

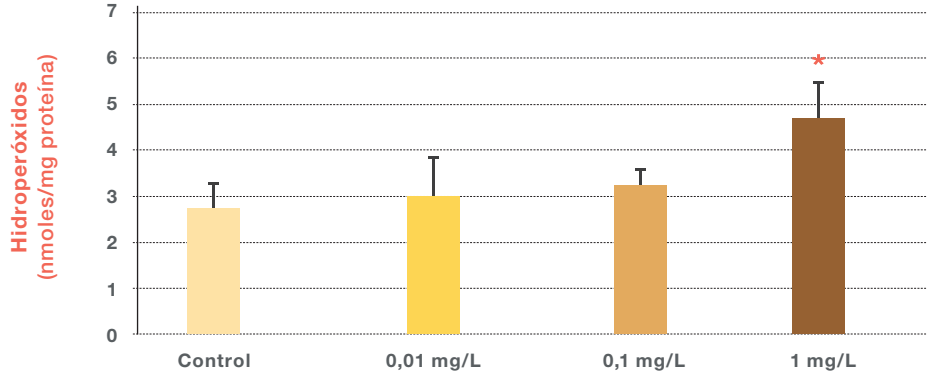
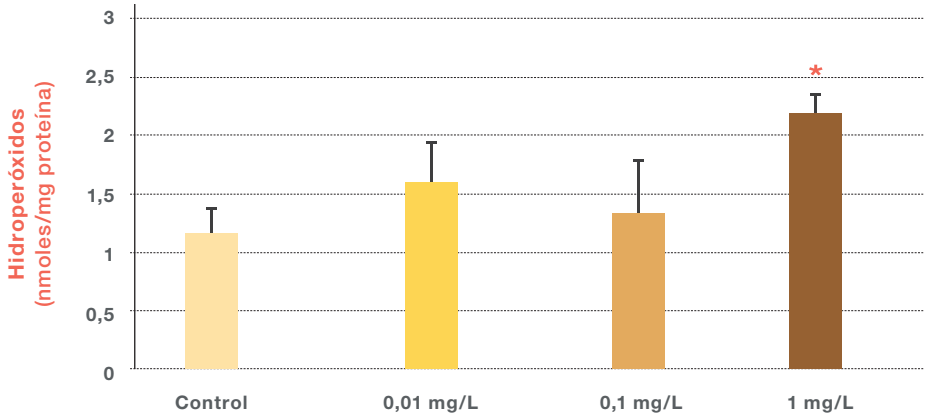


FIGURA 06-20

Niveles de hidroperóxidos (ROOH) en hígado de *Carassius auratus (L.),* expuestos a 4 tratamientos con diferentes concentraciones de cadmio (0, 0.01, 0.1 y 1 mg/L en el agua) durante 96 horas. Se muestra la media ± SD, n=9. (*): p<0.01 vs. C y T2.



mio con respecto al control en ambos órganos estudiados (branquias e hígado). En las branquias no se observan diferencias significativas a 0,01 y 0,1 mg/L frente al control. Solo se observa diferencia significativa en 1 mg/L, donde se obtiene un aumento del 72% de la cantidad de hidroperóxidos. En el caso del hígado la situación se repite, registrándose también solo una diferencia significativa con la mayor concentración (1 mg/L) frente al control, observándose un aumento de hidroperóxidos del 90%.

| 4.4.2 | Efecto del cadmio sobre la actividad catalasa (CAT).

La actividad catalasa reside en una familia de isoenzimas especializadas en la eliminación del H_2O_2, sin necesidad de disponer de un sustrato reducido.

En las FIGURAS 06-21 Y 06-22 se puede observar el efecto de los tratamientos con cadmio sobre la actividad de la CAT en los órganos estudiados. En ambos órganos se puede observar una estimulación por parte de las concentraciones de cadmio. En el caso de las branquias se observó un aumento significativo en los tres tratamientos utilizados respecto al control. En la FIGURA 06-21, se observa un aumento del 32% en las concentraciones de 0,01 y 0,1 mg/L ($CdCl_2$) y del 89% en 1 mg/L, en la actividad CAT. En el hígado se observó en la concentración 0,1 mg/L un aumento del 21% y en 1 mg/L del 68% en la actividad de la catalasa respecto al control, siendo ambos significativos [FIGURA 06-22].

| 4.4.3 | Efecto del cadmio sobre la actividad superóxido dismutasa (SOD).

La actividad superóxido dismutasa (SOD) es la primera línea de defensa frente al radical superóxido, que es transformado en agua oxigenada (reacción de dismutación). En las células eucarióticas existen dos tipos, CuZn-SOD y Mn-SOD, siendo ésta última de localización mitocondrial. Como puede observarse en las FIGURAS 06-23 Y 06-24 se aprecia una tendencia al aumento en todos los tratamientos

en ambos órganos estudiados, pero éste sólo resultó ser significativamente diferente frente al control en la mayor concentración de cadmio utilizada (1 mg/L). En las branquias, las concentraciones de 0,01 y 0,1 mg/L no presentaron diferencias significativas frente al control. En la FIGURA 06-23 se observa un aumento del 67% en la concentración 1 mg/L ($CdCl_2$) de la actividad de SOD. La misma situación se repite en el hígado, donde se observa un aumento del 98% en la actividad de la superóxido dismutasa [FIGURA 06-24] solo en la concentración 1 mg/L ($CdCl_2$), mientras que en las dos concentraciones más bajas no presentan diferencias significativas respecto al control.

FIGURA 06-21

Actividad catalasa (CAT)) en branquias de *Carassius auratus (L.),* expuestos a tratamientos con diferentes concentraciones de cadmio (0, 0.01, 0.1 y 1 mg/L en el agua) durante 96 horas. Se muestra la media ± SD, n=9. (*): p<0.01 vs. Control; (#): p<0,05 vs T1 y T2.

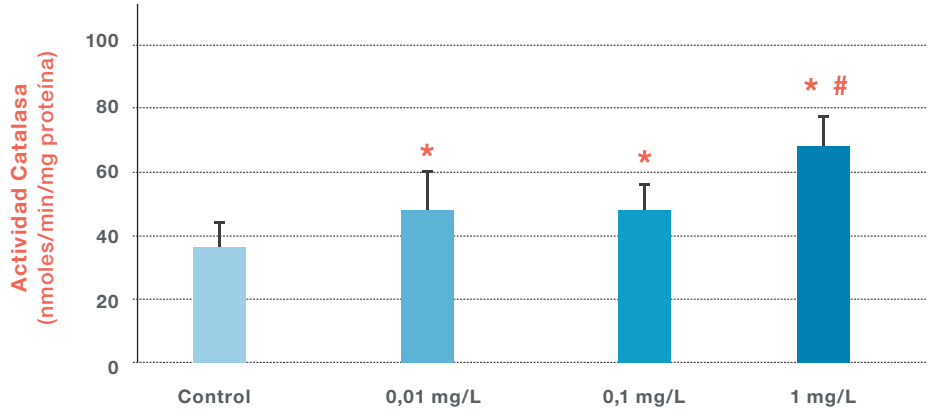


FIGURA 06-22

Actividad catalasa (CAT) en hígado de *Carassius auratus (L.),* expuesto a tratamientos con diferentes concentraciones de cadmio (0, 0.01, 0.1y 1 mg/L en el agua) durante 96 horas. Se muestra la media ± SD, n=9. (*): p<0.01 vs. Control, T1 y T2; (#): p<0,05 vs Control.

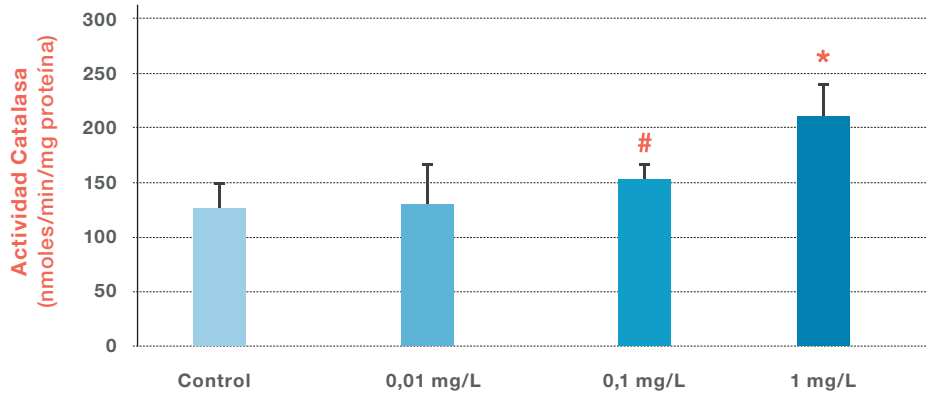


FIGURA 06-23

Actividad superóxido dismutasa (SOD) en branquias de *Carassius auratus (L.),* expuestas a tratamientos con diferentes concentraciones de cadmio (0, 0.01, 0.1 y 1 mg/L en el agua) durante 96 horas de tratamiento. Se muestra la media ± SD, n=9. (*): p<0.01 vs. Control, T1 y T2.

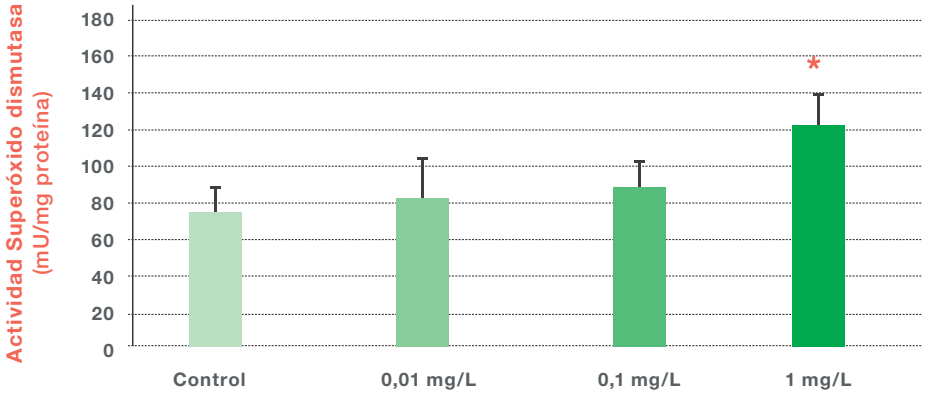
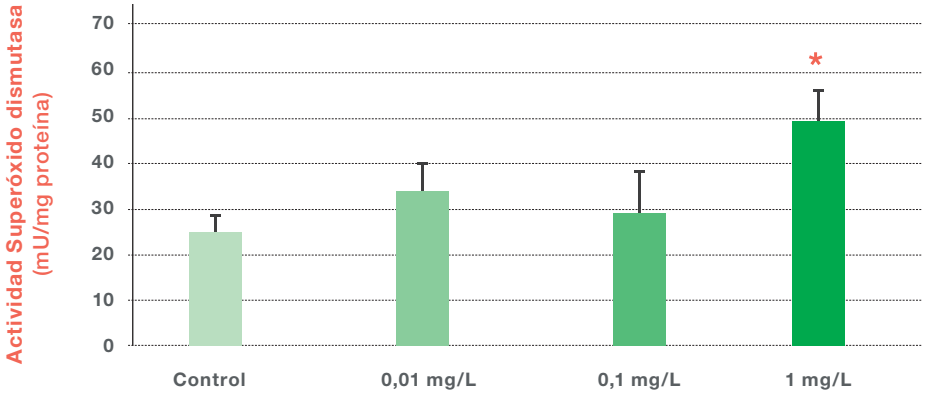


FIGURA 06-24

Actividad superóxido dismutasa (SOD) en hígado de *Carassius auratus (L.),* expuestas a tratamientos con diferentes concentraciones de cadmio (0, 0.01, 0.1 y 1 mg/L en el agua) durante 96 horas de tratamiento. Se muestra la media ± SD, n=9. (*): p<0.01 vs. Control y T2.



[5] Discusión

La contaminación ambiental es un tema que nos afecta a todos, es considerado un problema global, siendo los metales pesados uno de los contaminantes de mayor importancia debido a su toxicidad y acumulación en los organismos y a la biomagnificación a través de la cadena trófica (Shafaqat *et al.*,

2014). Los metales pesados como, por ejemplo, arsénico, cadmio, mercurio y plomo, son considerados los más tóxicos para el ambiente y las especies animales (Pandey y Madhuri, 2014). Estos metales producen efectos biológicos adversos en los organismos llegando a ser letales o subletales (Pandey y Madhuri, 2014). Los efectos tóxicos de los metales pesados se manifiestan afectando a la tasa de crecimiento, a funciones fisiológicas, reproducción y mortalidad. Los organismos acuáticos pueden absorber los contaminantes directamente del agua (vía directa) y/o a través de la alimentación (vía indirecta). Desde el punto de vista organísmico, los metales pueden ingresar en los peces mediante tres vías: branquias, superficie de la piel y tracto digestivo. Las branquias son la vía a través de la cual se produce la mayor tasa de ingreso de los metales en el cuerpo del animal desde el agua, mientras que la superficie de la piel representa el menor porcentaje (Shafaqat *et al.*, 2014).

Los organismos, también los acuáticos, necesitan de algunos metales pesados en muy pequeñas cantidades para su supervivencia (microelementos o metales esenciales). Sin embargo, en concentraciones inadecuadas, todos los metales pueden llegar a ser sustancias tóxicas y contaminantes ambientales no biodegradables, susceptibles de acumularse en los tejidos y órganos de los animales, y causar graves daños en el hígado, páncreas, sistema nervioso central, tejidos mucosos, tracto intestinal y sistemas reproductores. Estas sustancias tienden a unirse covalentemente a macromoléculas y ADN, lo que puede favorecer la inducción de estrés oxidativo (Gaete *et al.*, 2017). La toxicidad de estas sustancias depende de las rutas que tomen, la posición del organismo expuesto en la cadena alimentaria, el tipo de metal, la edad de los individuos expuestos, la genética o el género (Łuczyńska *et al.*, 2018).

En el medio acuático, el cadmio está presente en forma de ion libre o como complejo iónico asociado a otras sustancias inorgánicas u orgánicas. Los compuestos de cadmio solubles se movilizan en el agua, mientras que los insolubles se depositan en el sedimento (ATSDR, 2012). Los niveles de cadmio son generalmente más elevados en las zonas próximas a plantas metalúrgicas y minerías. Además, la utilización de fertilizantes superfosfatados en suelos agrícolas resulta en la acumulación de cadmio y la posterior escorrentía a ríos (McDowell, 2009) y, por lo tanto, su transporte hacia los océanos. El drenaje ácido de minas moviliza cadmio enriquecido naturalmente que conduce a elevadas concentraciones en el agua. Encontramos varios ejemplos de ello. Un ejemplo es lo que ocurre aguas abajo de la mina Tui en Te Arocha (Nueva Zelanda) donde se han medido concentraciones de cadmio de 286µg/L (Sabti *et al.*, 2000), mientras que concentraciones mucho más altas de 800µg/L se han reportado en corrientes asociadas con drenaje ácido de minas en la región de la costa oeste de Nueva Zelanda (Craw *et al.*, 2005). En el caso de Huelva (España), la carga media calculada de contaminantes transportada por el río Odiel a la ría de Huelva y golfo de Cádiz es 45 t / día de metales entre los que se encuentra el cadmio (Fe+Zn+Mn+Cu+Pb+Cd) (Sarmiento *et al*., 2004). La cantidad y tipología de vertidos de metales pesados a la Ría de Huelva están relacionados con el caudal de agua dulce (y, en consecuencia, con las precipitaciones). Así, durante las crecidas o inundaciones se registró una descarga máxima diaria de 72.475,00 kg de metales pesados, de los cuales 1481 kg fueron de As, 470 kg de Pb y 170 kg de Cd (Sainz *et al*., 2004)

El cadmio representa uno de los metales de mayor contaminación en muchas partes del mundo encontrándose acumulado en altas concentraciones en los tejidos de los peces en ambientes acuáticos con contaminación (Zelikoff *et al.*, 1995). Los efectos tóxicos del cadmio se encuentran bien descritos en

peces pudiendo afectar procesos fisiológicos y bioquímicos en tejidos y órganos (Al-Asgah *et al.* 2015). Este metal se acumula en diferentes órganos (hígado, páncreas, riñones, intestino, branquias, etc.) causando cambios histopatológicos en ellos (Abalaka, 2015). La acción del cadmio resulta en un bloqueo de los grupos sulfhídricos de las enzimas, donde compite por sitios de ligamiento con el Zn (Allen, 1993). Las actividades de las enzimas glucolíticas aumentan bajo condiciones anóxicas, sin embargo, en organismos contaminados con Cd tales ajustes bioquímicos son alterados, reduciendo la producción de energía y limitando la capacidad de sobrevivir frente al estrés anóxico (Nusetti *et al.*, 2010).

En su forma iónica (Cd^{2+}), el cadmio en el agua imita el calcio (Ca^{2+}), entrando en los peces a través de los canales de calcio del epitelio apical (Galvez *et al.*, 2006; Verbost *et al.*, 1987). Una vez absorbido, la magnitud de la acumulación de cadmio se correlaciona con la magnitud del efecto tóxico (McGeer *et al.*, 2012). De acuerdo con su ruta de entrada, los principales efectos tóxicos del cadmio son sobre la homeostasis del calcio. Por ejemplo, la ATPasa del calcio ubicada en la membrana basolateral del epitelio branquial es inhibida por el cadmio (Verbost *et al.*, 1987), lo que resulta en un deterioro de la absorción de calcio, hipocalcemia plasmática y una eventual muerte (McGeer *et al.*, 2000).

El cadmio también puede afectar la homeostasis de otros iones. Debido a la pérdida constante de sodio desde el cuerpo (donde está más concentrado) al ambiente (más diluido), existe un mecanismo en los peces de agua dulce para absorber sodio en las branquias. Esto se logra, en parte, por enzimas tales como la anhidrasa carbónica (CA) y la ATPasa de sodio/potasio (NKA), que ayudan a generar condiciones favorables para el transporte de sodio a la branquias de los peces, en contra de un gradiente de concentración (Hwang *et al.*, 2011). Se sabe que el cadmio perjudica la actividad de NKA y CA (Da Silva y Martínez, 2014; Lionetto *et al.*, 1998), lo que conducen a un deterioro de la absorción de sodio y comprometiendo el estado del sodio corporal (Da Silva y Martínez, 2014; McGeer *et al.*, 2000).

Otros problemas provocados por el cadmio en peces son: el daño oxidativo (medido por la peroxidación lipídica, se ha observado daño en el ADN y carbonilación de proteínas) (Nunes *et al.*, 2015; Thomas y Wofford, 1993); la inhibición de la actividad antioxidante de enzimas a través de la unión al sitio activo, y/o el deterioro de la unión enzimática apropiada (Wang *et al.*, 2015). También puede aumentar la producción de EROs a través del desplazamiento de hierro en la reacción de Fenton, que puede conducir a daño oxidativo (Nair *et al.*, 2013).

Los estudios en peces, como bioindicadores, se han ido haciendo cada vez más comunes para poder identificar la toxicidad de diferentes metales. Estos ensayos de toxicidad realizados en condiciones controladas en el laboratorio tienen la ventaja de poder aislar el efecto de un único contaminante y relacionarlo de forma precisa con las concentraciones de exposición establecidas para el estudio.

En el presente estudio se han evaluado distintos parámetros: a) la inducción de daño genotóxico del cadmio mediante los ensayos de micronúcleos; b) se identificó acumulación de cadmio en células de branquias e hígado; c) y se evaluó su efecto en la inducción de estrés oxidativo a través de la cuantificación del daño oxidativo por medio de la medida de peroxidación lipídica y de la respuesta antioxidante (evaluación de la actividad de enzimas antioxidantes). Para los bioensayos se utilizó individuos de la especie *Carassius auratus* (L). Las pruebas fueron realizadas en tanques con tres concentraciones distintas (0,01; 0,1 y 1 mg/L) y teniendo como referencia un tanque control; la exposición de Cd se llevó a cabo durante 96 horas, a través de su adición al agua porque imita mejor la exposición natural a los metales disueltos o suspendidos en el agua (Rodríguez-Cea *et al.*, 2003).

Los resultados obtenidos muestran que las tres concentraciones distintas de cadmio generaron la acumulación del metal en los dos órganos estudiados, branquias e hígado, como indican los estudios histoquímicos, y paralelamente se observa un aumento en la cantidad de micronúcleos en los eritrocitos de los peces así como en la inducción de estrés oxidativo después de 96 horas de exposición.

Existen numerosos procedimientos para medir genotoxicidad. Una herramienta de alerta temprana para medir genotoxicidad es el ensayo denominado ''The Single Cell Gel Electrophoresis'' (SCGE), conocido como ensayo cometa (Collins *et al.*, 1995), utilizado para detectar el daño que se produce en el ADN. Esta técnica se basa en la visualización microscópica de las imágenes del ácido desoxirribonucleico después de que las células son embebidas en agarosa, lisadas y sometidas a una electroforesis alcalina (Rodríguez-Rey *et al.*, 2016). Un ejemplo de este procedimiento es el realizado por Gaete *et al.* (2014), en las especies *Mugil cephalus* y *Odontesthes brevianalis* donde midieron efectos de genotoxicidad de las aguas de los ríos Aconcagua y Maipo y del estero Catapilco (Chile), los metales medidos fueron Cu, Zn, Pb.

Otro de los procedimientos más aceptados en la literatura es la evaluación de la inducción de micronúcleos (ensayo de micronúcleos). Descrito inicialmente por Schmid (1975), es utilizado en la actualidad como un método simple y alternativo, para evaluar daños a nivel cromosómico. Se considera la prueba de micronúcleos como la técnica más adecuada para evaluar efectos genotóxicos de una amplia gama de compuestos en peces (Rodríguez-Cea *et al.*, 2003). Los micronúcleos inducidos (MNi) son pequeñas masas de cromatina separadas del núcleo celular y que se encuentran en el citoplasma, por lo tanto, se genera una ruptura cromosómica o mitótica (Schmid, 1975). La prueba de micronúcleos se puede llevar a cabo en cualquier tejido activo en proliferación. En peces, se han utilizado principalmente las células sanguíneas, branquiales, hepáticas, renales y de las aletas (Al-Sabti y Metcalfe 1995; Cavas *et al.* 2005; Udroiu 2006; Cavas, 2008; Ahmed *et al.*, 2011). En otros metales, Cavas *et al.*, (2005) evaluó la inducción de MNi en la sangre de tres peces distintos, expuestos a concentraciones de 0,01 y 0,21 mg/L de Cu después de 21 días de exposición, encontrando un efecto no significativo en carpa prusiana (*Carassius gibelio*), una inducción de MNi en carpa común (*Cyprinus carpio*) y una mortalidad total en *Corydoras paleatus*. Canalejo *et al.*, (2016) observó un aumento en la frecuencia de MNi, en *Dicentranchus labrax* expuestos a concentraciones de 0,01; 0,1; 1, y 10 mg/L de Pb durante 24 y 96 horas, incrementándose cada vez más la presencia de micronúcleos con dosis más altas de plomo. Por otro lado, Cavas (2008) encontró que los tratamientos con acetato de plomo a dosis de 0,01 a 0,1 mg/L durante 2 a 6 días indujo significativamente la formación de MNi en eritrocitos, branquias y células de aletas de *Carassius auratus* (L). En el caso del As, las frecuencias de MNi aumentan gradualmente a mayores concentraciones de este metal (Canalejo *et al.*, 2016). Yadav y Trivedi (2009) observaron una dependencia gradual entre el tiempo de exposición y el aumento de la frecuencia de MNi en la sangre inducida por As_2O_3 (6,94 mg/L) durante 24 a 168 horas de exposición en *Channa punctata.*

Los resultados obtenidos en este estudio indican una tendencia a incrementar el número de micronúcleos asociada al aumento en la concentración de cadmio en el agua, con una dosis-dependencia significativa, ya que los niveles de MNi contabilizados desde el nivel de exposición de 0,01 mg/L de $CdCl_2$ resultaron estadísticamente diferentes del grupo control. Zhu *et al.,* (2004) mostró que a concentraciones de 0,01 y 1 mg/L después de 48 o 96 horas de exposición a Cr y Cd en carpa (*Cyprinus carpio*), indicaron una dosis dependencia en la frecuencia de micronúcleos, diferente a lo que vieron con el Cu que no mostro ningún efecto significativo en la frecuencia de micronúcleos a las dos concentraciones antes

mencionadas. Del mismo modo, Sánchez-Galán *et al.* (1999) encontraron que en la trucha marrón (*Salmo trutta*) inyectadas intraperitonealmente (1,7 mg/kg de peso corporal) con cadmio y mercurio se generó un aumento de MNi en eritrocitos renales después de 24 horas de tratamiento, a diferencia del cobre que no generó aumento en los MNi. También se observaron resultados similares en la anguila (*Anguilla anguilla, L.)* (Sánchez-Galán *et al.*, 2001; Gravato *et al.,* 2006). En India, Parveen y Shadab (2012) vieron que en la especie *Channa punctatus*, en los individuos expuestos a distintas concentraciones de cloruro de cadmio (0,5, 1,0, 2,0 y 5,0 ppm) durante 72 horas, se generó un aumento en la frecuencia de micronúcleos en los eritrocitos de la sangre de la aleta caudal, además de varias anormalidades cromosómicas. Estos estudios muestran claros indicios de la existencia de una relación directa entre la exposición a cadmio y el aumento en la frecuencia de MNi en los eritrocitos de los peces.

El cadmio afecta negativamente a varios órganos, principalmente a los riñones, pulmones, huesos, placenta, cerebro y el sistema nervioso central (Castro-González y Méndez-Armenta, 2008). Varios estudios han demostrado que el cadmio se acumula preferentemente en los órganos internos como el hígado y riñón, y no tanto en músculo, donde se han encontrado concentraciones menores en otros estudios (Castro-González y Méndez-Armenta, 2008; Storelli *et al.,* 2005). Por ello, es por lo que en este estudio se decidió evaluar histológicamente las branquias y el hígado.

Las branquias son los órganos encargados de la respiración de los peces, ingresando O_2 y eliminando CO_2. Las branquias de los peces están compuestas por cuatro arcos branquiales (óseos), dos hileras de filamentos branquiales y éstas a su vez están compuestas por las laminillas o lamelas donde tiene lugar el intercambio de gases. Además, las branquias están compuestas de tres diferentes tipos de células: células de moco o neuroepiteliales, células del pavimento (PVCs) o células epiteliales y células ricas en mitocondrias (MRCs.). En este estudio se pudo observar acumulación de cadmio en células epiteliales periféricas de las branquias y, además, se observó hiperplasia lamelar. El hígado es el segundo órgano a estudiar y la importancia de su estudio radica en su posición fisiológica clave y su capacidad de detoxificación. Los hepatocitos son las células primarias del hígado, constituyen el 75% del peso del hígado y son los encargados de la secreción de la bilis (Gartner y Hiatt, 2002). En los peces teleósteos (esqueleto óseo) como nuestra especie estudiada, *Carassius auratus* (L.), el hígado se encarga del procesamiento de proteínas, lípidos, vitaminas y carbohidratos, además de ser el encargado de la detoxificación y la síntesis de diferentes proteínas. En peces, el hígado es un órgano esencial de acumulación de metales. Los metales se acumulan principalmente en los lisosomas de los hepatocitos. En nuestro estudio se pudo observar acumulación de cadmio en los hepatocitos del hígado.

Las muestras obtenidas para los análisis histológicos fueron teñidas con dos tinciones diferentes. Se utilizó Hematoxilina-Eosina para ver la estructura de los tejidos, debido a que la hematoxilina es un colorante básico y por ello tiene afinidad por estructuras ácidas como el núcleo celular. Sin embargo, la eosina es el inverso a la hematoxilina, siendo un colorante ácido que tiene afinidad por estructuras básicas como el citoplasma celular. Esto nos permite identificar con claridad el armazón tisular de hígado y branquias. En el caso del hígado de los peces control, se observa claramente hepatocitos, arteriolas y vénulas, mientras que en el caso de las branquias se pueden observar las estructuras branquiales (arco, láminas y laminillas).

Con la finalidad de poder observar a nivel histológico si existía una acumulación de cadmio en los tejidos, se realizó una segunda tinción con Ditizona, esta técnica fue desarrollada por Seregin e Ivanov

(2001), basada en la capacidad de la Ditizona para producir un compuesto de color rojizo después de reaccionar con cadmio o cualquier otro metal a estudio, presente en las células o tejidos. Nuestros resultados muestran que existe una marcada diferencia entre los peces control y los peces expuestos a los tres tratamientos con cadmio. Desde el tratamiento 1 (0,01 mg/L de $CdCl_2$) se pudo observar células teñidas de un color marrón indicando que existía acumulación de cadmio, estas tinciones fueron en ambos tejidos estudiados y tanto branquias como el hígado se vieron afectados. Si comparamos nuestro estudio con el realizado por Costa y Costa (2008) en la especie *Sparus aurata* (L.), un estudio de corta duración (48 h) en el que a los peces se les inyectaron intraperitonealmente dosis individuales de Cd (100-250 µgCd/L), aquí el cadmio generó una degradación histológica del tejido hepático y una inducción de las metalotioneínas (MTs), fuertemente correlacionada con las dosis de cadmio inyectadas, pero no con la bioacumulación o el tiempo de supervivencia. En este estudio, la inyección con cadmio genera muerte de la mayoría de los peces y una degradación histológica mucho más rápida. En nuestro bioensayo no se generó muerte de ninguno de los peces estudiados debido a que el experimento se realizó a concentraciones más bajas de cloruro de cadmio, ya que era importante para nosotros ver desde qué nivel mínimo de concentración de este metal encontraríamos alguna alteración. Costa y Costa (2008) mencionan que la relación entre la dosis de cadmio, el cadmio hepático bioacumulado y la MTs hepáticas indica la existencia de un umbral de absorción de cadmio, tras el cual los animales ya no son capaces de regular o bioacumular este metal, no dependiendo del tiempo de supervivencia sino de la dosis del metal.

Existen evidencias de bioacumulación de cadmio en organismos de aguas continentales. Así, por ejemplo, los altos niveles de cadmio en especies marinas están asociados con una dieta donde predominan los moluscos (Storelli y Marcotrigiano, 2004), pero las evidencias para una biomagnificación en la cadena trófica son aún inconsistentes (Castro-González y Méndez-Armenta, 2008; Falcó *et al.*, 2006; Roméo *et al.*, 1999; Storelli y Marcotrigiano, 2004). Los resultados sugieren que la diferencia interespecífica del contenido de cadmio puede ser atribuida a la conducta alimentaria y a factores intrínsecos como las tasas de los procesos fisiológicos e ingesta (Storelli y Marcotrigiano, 2004; Storelli *et al.*, 2005). Distintos estudios han considerado que el Cd puede provocar daños a nivel molecular en los organismos marinos en bajas concentraciones, conllevando alteraciones en el trasporte a través de las membranas biológicas (Dailianis y Kaloyianni, 2004), en la actividad enzimática (Canesi *et al.*, 1998; Nusetti *et al.*, 2010), en la producción energética (Sokolova, 2004), y en daños oxidativos (Prakash y Jagannatha-Roa, 1995; Rajkumar *et al.*, 2011).

En nuestro estudio hemos observado que la acumulación del Cd empieza a detectarse levemente desde concentraciones muy bajas del metal (0,01 mg/L), aunque la tinción con Ditizona es mucho más fuerte a dosis de 1 mg/L de Cd. Hirt y Domitrovic (2002) evaluaron la toxicidad del cloruro de cadmio en la especie *Cichlasoma dimerus* en tratamientos similares a los nuestros con ensayos agudos durante 96 h y con otros ensayos a largo plazo (28 días), y encontraron efectos histopatológicos (congestión laminar, hemorragia, hiperplasia epitelial, hipertrofia epitelial, fusión laminar de branquias). Con relación al nivel de toxicidad, se determinó que el cadmio pertenece al grupo Grupo 2 (tóxico) con una CL50 entre 1 y 100 mg/L, y su toxicidad en relación con otros metales pesados fue Cd-Zn-Pb-Cr < Al < Cu-Hg (Hirt y Domitrovic, 2002). Es importante contrastar nuestro trabajo con el realizado por los autores antes mencionados porque al trabajar con menores concentraciones a tiempos más largos de

exposición podemos demostrar que la presencia del cadmio, y por tanto su toxicidad tisular, puede empezar a ser representativa desde concentraciones muy bajas.

En nuestro estudio, los peces expuestos a cadmio durante 96 h. también mostraron una acumulación de este elemento en las branquias, dependiente de la dosis utilizada como nos muestran las observaciones histológicas con la tinción de Ditizona. El cadmio ha sido descrito como uno de los metales pesados más tóxicos a través de su acción sobre estos órganos. Así, se ha observado que produce generalmente asfixia en los peces debido a que los precipitados o coagulados de mucoproteínas, producidos como defensa, se depositan sobre el epitelio branquial. Esto produce un bloqueo del intercambio de gases, de la excreción de productos de desecho y de la osmorregulación (Tafanelli y Summerfelt, 1975). Algunos de estos efectos, como la pérdida de equilibrio, fueron observados en ejemplares de *Brachydanio rerio* que fueron expuestos a cloruro de cadmio en ensayos agudos y subagudos (Karlsson-Norrgren *et al.*, 1985). El cadmio afecta la morfología del epitelio de las branquias produciendo patologías a nivel celular que influyen en los sistemas de regulación iónica (Evans, 1987). Alteraciones similares a las antes mencionadas son descritas por Andreozzi *et al.* (1994) también en *Carassius auratus* (L), la misma especie utilizada en nuestro estudio, aunque expuestos a concentraciones mucho mayores de cloruro de cadmio (20 mg/L) que las estudiadas por nosotros. A estas dosis, las alteraciones vasculares más frecuentes fueron hemorragia y congestión tanto a nivel branquial como hepático, demostrándose así que los dos órganos elegidos para nuestro estudio (hígado y branquias) son muy sensibles a los efectos tóxicos de los metales, y en especial al cadmio y, por tanto, son una herramienta tisular y orgánica muy adecuada para observar cualquier efecto deletéreo a dosis bajas o muy bajas, como las empleadas en nuestro estudio, para el análisis y selección de los mejores biomarcadores de alerta temprana.

Distintos estudios han considerado que el cadmio puede provocar daños a nivel molecular en los organismos marinos en bajas concentraciones, conllevando a alteraciones en el trasporte a través de las membranas biológicas (Dailianis y Kaloyianni, 2004), actividad enzimática (Canesi *et al.*, 1998; Nusetti *et al.*, 2010), producción energética (Sokolova, 2004) y daños oxidativos (Prakash y Jagannatha-Roa, 1995; Rajkumar *et al*., 2011).

El oxígeno es esencial para el desarrollo de las actividades metabólicas en los organismos aerobios. El oxígeno trabaja como un aceptor de electrones durante la respiración celular, pero también es el principal responsable del incremento en la formación de EROs. En células normales, las EROs son detoxificadas por las defensas antioxidantes, de esta forma se genera un balance entre la producción de prooxidantes y el sistema antioxidante de defensa. Sin embargo, cuando hay una marcada producción de EROs, el sistema antioxidante de defensa se puede alterar o resultar insuficiente y esto lleva a un incremento en el daño en lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, alterando diversos procesos celulares (Van der Oost *et al.*, 2003). Las EROs pueden generar peroxidación lipídica, daños en las membranas celulares, ruptura del ADN (daño genotóxico) y alteraciones en la estructura y funciones de las proteínas y otras biomoléculas (Pérez y Pérez 2000). Por ello, el estrés oxidativo es un desbalance entre la producción de EROs y la capacidad de su eliminación por parte de las defensas antioxidantes, generando un daño oxidativo que lleva a una gran cantidad de cambios bioquímicos y fisiológicos, los cuales pueden desencadenar un deterioro y muerte celular (Sies, 1997). En el caso concreto de los peces tienen un buen desarrollo de las defensas antioxidantes. Estas pueden ser de tipo enzimático,

entre ellas están la superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT), y pueden ser no enzimáticas como el glutation (El-Gazzar *et al.,* 2014) y la melatonina (Mirończuk-Chodakowska *et al.,* 2018).

Estudios realizados *in vitro* e *in vivo* muestran que el cadmio participa en la generación de EROs y en sus derivados (Drąg-Kozak *et al.*, 2019). Los efectos del cadmio administrado en altas concentraciones han sido atribuidos a un aumento excesivo de EROs en las células, y que conducen a estrés oxidativo. La acumulación de EROs en respuesta a la exposición al cadmio puede ocurrir debido a la inhibición de antioxidantes y enzimas antioxidantes, y/o mediante un efecto del metal en la generación EROs (McRae *et al.*, 2018). Por ejemplo, se ha demostrado que el cadmio tiene una fuerte afinidad por el sitio activo de la enzima superóxido dismutasa en el hígado del pez cebra (Wang *et al.*, 2015), y también se conoce que la exposición al cadmio puede alterar la estructura proteica de la catalasa (Wang *et al.*, 2015). Es por esto que uno de nuestros objetivos es el de evaluar el efecto del cadmio en la inducción de estrés oxidativo, mediante la cuantificación de daño oxidativo a través de la medida de la peroxidación lipídica y de la respuesta antioxidante, determinada por las actividades de la catalasa (CAT) y la superóxido-dismutasa (SOD).

La evaluación de la peroxidación lipídica, que resulta del daño oxidativo ocasionado a lípidos saturados e insaturados de las bicapas lipídicas, ha sido ampliamente utilizada como un marcador de daño oxidativo en peces inducido por contaminantes metálicos (Roberts y Oris, 2004; Ahmad *et al.*, 2006a; 2006b; Gioda *et al.*, 2007). En este caso, los niveles de hidroperóxidos constituyen un marcador del daño oxidativo muy utilizado en los peces. Los hidroperóxidos son los productos primarios de la oxidación y se forman a partir de los ácidos grasos insaturados. Alteran las membranas celulares y son altamente tóxicos, llegando a provocar problemas en las funciones o en la vida de las células. Los resultados obtenidos durante nuestro estudio demostraron que la exposición a concentraciones de 1 mg/L de cadmio provocó un incremento en los niveles de hidroperóxidos tanto en las branquias como en el hígado, confirmando que con esos niveles de cadmio se produjo una situación de estrés oxidativo y en consecuencia daño en las membranas celulares.

Nuestros datos acerca de un incremento en los niveles de hidroperóxidos coinciden con Oliva *et al.* (2012), quienes relacionan altos niveles de peroxidación en hígado de *Solea senegalensis* con la presencia de altos niveles de As y Cd en dicho órgano. En otro estudio realizado con *Carassius auratus* (L), pero con otro metal, en este caso el manganeso (Mn), se observó que tratamientos a largo plazo (96 h.) incrementaron los niveles de hidroperóxidos en todos los órganos estudiados (branquias, riñón, hígado y cerebro) (Vieira *et al.*, 2012). También hay estudios de peces tratados con Zn donde se observa una inducción de los niveles de TBAR (marcador de peroxidación lipídica) en hígado, cerebro y riñón, pero no así por el Cu que incluso los reduce en el hígado (Gioda *et al.*, 2007). Indudablemente, esto podría indicar que metales pesados, como el Cd, Pb, Mn, As, y Zn, generan daños oxidativos en peces.

Como mencionamos anteriormente, entre los principales mecanismos para eliminar las EROs de las células animales se encuentran las actividades enzimáticas superóxido dismutasa (SOD) y catalasa (CAT). La superóxido dismutasa constituye la primera línea defensiva frente al radical superóxido (O_2^-), provocando su dismutación y dando lugar a la formación de agua oxigenada (H_2O_2). El O_2^- se genera principalmente en reacciones de autooxidación y tienen lugar durante la transferencia de electrones en la cadena respiratoria mitocondrial. Los resultados obtenidos en nuestro estudio indican que en ambos órganos, branquias e hígado, se generó una estimulación de la actividad SOD a concentracio-

nes de 1 mg/L de $CdCl_2$, generándose un incremento del 67% en las branquias y un 98% en el hígado *versus* el grupo control. Si comparamos esto con lo realizado por Vieira *et al.* (2012), pero con Mn, nuestros resultados se asemejan a los de ellos puesto que la actividad SOD resultó sensiblemente estimulada (por encima del 200% vs. los controles) en el hígado y en branquias, no así en cerebro donde la actividad SOD se encontró inhibida en un 75% vs. el grupo control.

Hay estudios que han demostrado que, bajo condiciones de estrés oxidativo, la SOD puede presentar comportamientos diferentes. Inicialmente o cuando el estrés es moderado, la SOD puede ser estimulada. Sin embargo, cuando la situación de estrés oxidativo se alarga durante un período de tiempo y persiste, la SOD puede llegar a alcanzar sus niveles de saturación y tender a estabilizarse, o incluso a disminuir su actividad (Berrahal *et al.*, 2007; Ates *et al.*, 2008). Una disminución en la actividad SOD se ha visto en el hígado después de la administración de cadmio también para las especies *Rhamdia quelen* (Pretto *et al.*, 2011) y *Oreochromis niloticus* (Saglam *et al.*, 2014). En otro estudio, con peces *Oreochromis niloticus* (Tilapia) expuestos a Pb administrado en la dieta también mostraron una inhibición dosis-dependiente de la actividad SOD de riñón (Dai *et al.*, 2012).

La catalasa es otra enzima que presenta un papel relevante en la defensa antioxidante (Di-Giulio *et al.*, 1993). Se encarga de catalizar la reacción de reducción del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en agua (H_2O) y oxígeno (O_2). La actividad catalasa puede localizarse en prácticamente todas las partes de la célula, aunque es mucho más abundante en los peroxisomas y las mitocondrias (Halliwell *et al.*, 1995). En nuestro estudio se pudo observar un aumento respecto al control en la actividad enzimática de la catalasa en todas las concentraciones ensayadas, desde la menor concentración de 0,01 mg/L de cadmio en branquias. Viendo un aumento del 89% de la actividad de la catalasa a la concentración de 1 mg/L de cadmio. Por su parte, en el hígado se presentó un aumento significativo de la actividad de la catalasa a la mayor concentración estudiada de 1 mg/L. Dicho aumento fue de 68% de la actividad de CAT sobre el control. En otro estudio, realizado con *Carassius auratus* (L.) tratados con 0.1 y 1 mg/L de Mn durante 96 h., se obtuvo un incremento de la actividad CAT solamente en las branquias; mientras que fue inhibida en el hígado y el riñón, y no se afectó en el cerebro (Vieira *et al.*, 2012). En el estudio realizado por Arantes *et al.* (2016) donde se expusieron a los peces a diferentes metales (Ag, Cd, Cr, Cu y Zn), se observó que el Cd y el Cr inhibieron o no tuvieron efecto sobre la actividad CAT en riñón, branquias y cerebro, pero la estimularon en el hígado; la Ag inhibió la CAT en el hígado, riñón y cerebro, pero la estimuló en las branquias. El Zn tuvo un efecto estimulador en hígado y cerebro, pero ninguno en riñón o branquias; y el Cu inhibió la CAT en el riñón, pero la estimuló en los otros órganos.

Como mencionamos anteriormente, las branquias podrían ser consideradas como el órgano de los peces más sensible a los contaminantes, ya que como hemos visto alcanzan los niveles más altos de producción de hidroperóxidos lipídicos (un buen marcador de daño oxidativo real). Esto puede estar vinculado al mayor contacto de este órgano con los metales presentes en el agua, en nuestro caso el cadmio. Y el hígado al ser el órgano encargado a la detoxificación de toxinas, es al igual que las branquias altamente afectado por los contaminantes o los agentes tóxicos. Nuestro estudio, indica que existe una relación directa entre la exposición al cadmio en peces y la inducción de daño genotóxico evaluado con los ensayos de micronúcleos y el estrés oxidativo medido por el aumento de la peroxidación lipídica y la respuesta antioxidante de la superóxido dismutasa y la catalasa. No obstante,

nuestros resultados indican que, si bien, se ha generado una respuesta antioxidante, ésta no ha sido suficiente para evitar la generación de estrés oxidativo medido por la cantidad de hidroperóxidos, en ambos órganos. Además, se pudo observar una acumulación de cadmio en branquias e hígado junto con un aumento en la cantidad de micronúcleos observados en eritrocitos de *Carassius auratus* (L). La evaluación de los parámetros analizados en este estudio, pueden considerarse como buenos biomarcadores para la monitorización ambiental de los ecosistemas acuáticos.

La presencia de metales pesados en los ecosistemas constituye un serio problema debido a su elevada persistencia medioambiental y su alta toxicidad para los organismos vivos; ejemplo de ello son el cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) (Kolf-Clauw *et al.,* 2007). Por este motivo, es muy importante mantener un equilibrio en los sistemas acuáticos, evitar la contaminación desmedida, y una continua supervisión de los desechos asociados a las industrias y la minería. Son factores principales a tener en cuenta en el momento de generarse una inestabilidad en los ecosistemas y, por lo tanto, daño en los organismos que allí viven y se relacionan.

[6] Conclusiones

Tras la exposición a corto plazo, durante 96 horas, de ejemplares de *Carassius auratus (L)* a diferentes concentraciones de cadmio (0,01; 0,1 y 1 mg/L) en condiciones controladas de laboratorio se observó:

1) **La bioacumulación de Cd,** inducida por las tres concentraciones de cadmio evaluadas, en las células de los dos tejidos estudiados: branquias e hígado.

2) **La inducción de daño oxidativo (peroxidación lipídica),** evaluado mediante la cuantificación de los niveles de hidroperóxidos, en branquias e hígado por la concentración de cadmio más alta (1 mg/L).

3) **La inducción de una respuesta antioxidante,** puesta de manifiesto por un incremento de las actividades enzimáticas SOD y CAT, tanto en branquias como en hígado. No obstante, ello no fue suficiente para evitar el desarrollo del daño oxidativo.

4) **La inducción de daño genotóxico**, evaluado mediante el ensayo de micronúcleos en eritrocitos de sangre periférica, por las distintas concentraciones de cadmio ensayadas.

5) **Los parámetros bioquímicos y citogenéticos** evaluados en peces en este trabajo pueden ser utilizados como biomarcadores tempranos apropiados para la monitorización ambiental de la contaminación por cadmio en el medio acuático.

[7] Bibliografía

Abalaka, S.E. (2015). *"Heavy metals bioaccumulation and histopathological changes in Auchenoglanis occidentalis fish from Tiga dam, Nigeria".* J. Environ. Health Sci. Eng., 13: 67-74

Aebi, H. (1983). *"Catalase"*. En: Bergmeyer, H.U. (Ed.), Methods of Enzymatic Analysis, vol. 3, Verlag Chemie, Weinheim, Germany, pp. 273–286.

Agency For Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR) (2012). *"Public Health Statement for Cadmium"*. CAS # 7440-43-9

Ahmad, I.; Maria, V.; Oliveira, M.; Pacheco, M.; Santos, M. (2006-a). *"Oxidative stress and genotoxic effects in gill and kidney of Anguilla anguilla L. exposed to chromium with or without pre-exposure to beta-naphthoflavone"*. Mutat. Res., 608: 16-28.

Ahmad, I., Pacheco, M.; Santos, M. (2006-b). *"Anguilla anguilla L. oxidative stress biomarkers: an in situ study of fresh water wetland ecosystem (Pateirade Fermentelos, Portugal)"*. Chemosphere, 65: 952-962.

Ahmed, K.; Al-Mamun, H.; Hossain, M.A.; Arif, M.; Parvin, E.; Akter, M.S.; Khan, M.S.; Islam, M. (2011). *"Assessing the genotoxic potentials of arsenic in tilapia (Oreochromis mossambicus) using alkaline comet assay and micronucleus test"*. Chemosphere, 84 (1): 143-149.

Al-Asgah, A.N.; Abdel-Warith, A.W.; Younis, E-SM.; Allam, H.Y. (2015). *"Haematological and biochemical parameters and tissue accumulations of cadmium in Oreochromis niloticus exposed to various concentrations of cadmium chloride"*. Saudi J. Biol. Sci., 22: 543-550.

Allen, P. (1993). *"Accumulation profiles of cadmium and their modification by interaction with lead and mercury in the edible tissues of Orochromis aureus".* Fresenius Envir. Bull., 2: 745-751.

Almazan, G.; Liu, H.N.; Khorchid, A.; Sundarajan, S.; Martinez- Bermudez, A.K.; Chemtob, S. (2000) *"Exposure of developing oligodendrocytes to cadmium causes HSP72 induction, free radical generation, reduction in glutathione levels and cell death"*. Free Radic. Biol. Med., 29: 858-869.

Al-Sabti, K.; Metcalfe, C.D. (1995). *"Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water"*. Mutat. Res., 343: 121-135.

Ameur, W.; El Megdiche, Y.; De Lapuente, J.; Barhoumi, B.; Trabelsi, S.; Ennaceur, S.; Camps, L.; Serret, J.; Ramos-López, D.; Gonzalez-Linares, J.; Touil, S.; Driss, M.R.; Borràs, M. (2015). *"Oxidative stress, genotoxicity and histopathology biomarker responses in Mugil cephalus and Dicentrarchus labrax gill exposed to persistent pollutants". A field study in the Bizerte Lagoon: Tunisia.* Chemosphere, 135: 67-74.

Andreozzi, G.; Antonucci, R.; Affatato, C.; Gargiulo, G.; Battaglini, P. (1994). *"Influence du cadmium sur l'Intestin de Carassius auratus".* Anat. Histol. Embryol., 23: 102-111.

Anton, A.; Lizaso J. (2001). *"Los metales pesados en la alimentación".* Ed. Fundación Ibérica para la seguridad alimentaria. Madrid. España.

Arantes, F.P.; Savassi, L.A.; Santos, H.B.; Gomes, M.V.T.; Bazzoli, N. (2016). *"Bioaccumulation of mercury, cadmium, zinc, chromium, and lead in muscle, liver, and spleen tissues of a large commercially valuable catfish species from Brazil".* Anais da Academia Brasileira de Ciências, 88 (1): 137-147.

Arellano, J.; Storch, V.; Sarasquete, C. (1999). *"Histological changes and copper accumulation in liver and gills of the Senegales sole, Solea senegalensis".* Ecotoxicol. Environ. Saf., 44 (1): 62-72.

- Asensi, M; Sastre, J.; Pallardo, F.V.; Lloret, A.; Lehner, M.; Garcia-de-la Asuncion, J.; Viña, J. (1999). *"Ratio of reduced to oxidized glutathione as indicator of oxidative stress status and DNA damage*". Methods in Enzymology, Academic Press, 299: 267-276.
- Ates, B.; Orun, I.; Talas, Z.S.; Durmaz, G.; Yilmaz, I. (2008). *"Effects of sodium selenite on some biochemical and hematological parameters of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss Walbaum, 1792) exposed to Pb2+ and Cu2+".* Fish Physiol. Biochem., 34: 53-59.
- Bakare, A.A.; Alabi, O.A.; Gbadebo, A.M. Ogunsuyi, O.I.; Alimba, Ch.G. (2013). "*In Vivo Cytogenotoxicity and Oxidative Stress Induced by Electronic Waste Leachate and Contaminated Well Water"*. Challenges, 4: 169-187.
- Bancroft, J.D.; Stevens, A.; Turner, D.R. (1990). *"Theory and Practice of Histological Techniques"*. Churchill Livingstone, Edinburgh.
- Berrahal, A.A.; Nehdi, A.; Hajjaji, N.; Gharbi N.; El-Fazâ S. (2007). *"Antioxidant enzymes activities and bilirubin level in adult rat treated with lead".* Comptes Rendus Biol., 330: 581-588.
- Beyer J. (1996). *"Fish biomarkers in marine pollution monitoring; evaluation and validation in laboratory and field studies"*. Academic thesis, University of Bergen, Norway.
- Bhattacharya, S.; Bhattacharya, A.; Roy, S. (2007). *"Arsenic-induced responses in freshwater teleosts".* Fish Physiol Biochem., 33 (4): 463-473.
- Blasco, J., Arias, A.M., Saenz, V., 1999. Heavy metals in organisms of the river Guadalquivir estuary: posible incidence of the Aznalcollar disaster. Sci. Tot. Environ.242, 249–259.
- Bradl, H. (2005). *"Heavy Metals in the environment"*. En: Chapter 1: Sources and origins of heavy metals. Ed. H.B. Bradl. University of Applied Sciences Trier. Neubrucke. Germany.
- Bradford, M.M. (1976). *"A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding"*. Anal. Biochem., 72 (1–2): 248-254.
- Cabezudo, B.; Rivera, J. (1980). "*Notas taxonómicas y corológicas sobre la Flora de Andalucía Occidental, 2: Erica andevalensis Cabezudo & Rivera sp. nov.*" Lagascalia, 9 (2): 223-226.
- Canalejo, A.; Diaz-De-Alba, M.; Granado-Castro, M.D.; Córdoba, F.; Espada-Bellido, E.; Galindo-Riaño, M.D.; Torronteras, R. (2016). *"Early genotoxic response and accumulation induced by waterborne copper, lead, and arsenic in European seabass, Dicentrarchus labrax"*. Environ Sci Pollut., 23: 3256-3266
- Canesi, L.; Ciacci, C.; Piccoli, G.; Stocchi, V.; Viarengo, A.; Gallo, G. (1998). *"In vitro and in vivo effects of heavy metals on mussel digestive gland hexokinase activity: the role of glutathione".* Comp. Biochem. Physiol. C, 120: 261-268.
- Carranza, L.P. (2011). *"Cuantificación de micronúcleos en células de sangre periférica de mototaxistas que trabajan en la ciudad de Cartagena de Indias"* Trabajo de grado Magister en Toxicología. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Toxicología. Facultad de Medicina.
- Castro-González, M.; Méndez-Armenta, M. (2008). *"Metals: Implications associated to fish consumption*". Environmental Toxicology and Pharmacology, 26 (3): 263-271.
- Cavas, T.; Garanko, N.; Arkhipchuk, V. (2005). *"Induction of micronuclei and binuclei in blood, gill and liver cells of fishes subchronically exposed to cadmium chloride and copper sulphate".* Food Chem. Toxicol., 43 (4): 569-574.
- Cavas, T. (2008) "*In vivo genotoxicity of mercury chloride and lead acetate: micronucleus test on acridine orange stained fish cells".* Food Chem. Toxicol., 46: 352–358.

- Cerqueira, C.C.C.; Fernandes, M.N. (2002). *"Gill Tissue Recovery after Copper Exposure and Blood Parameter Responses in the Tropical Fish Prochilodus scrofa".* Ecotoxicol. Environ. Saf., 52 (2), 83-91.
- Collins, A. R.; Ma, A.G.; Duthie, S.J. (1995). "*The kinetics of repair of oxidative DNA damage (strand breaks and oxidized pyrimidines) in human cells".* Mutat. Res., 336: 69-77.
- Costa, P.; Costa, M. (2008). *"Biochemical and histopathological endpoints of in vivo cadmium toxicity in Sparus aurata".* Ciencias Marinas, 34 (3): 349-361.
- Craw, D.; Brown, K.; Webster-Brown, J. (2005). *"Metals derived from gold mining and geothermal sources".* In: Moore, T.A., Black, A., Centeno, J.A., Harding, J.S., Trumm, D.A. (Eds.), Metal Contaminants in New Zealand. Resolutionz Press, Christchurch, pp. 231-246.
- Da Silva, A.O.F.; Martinez, C.B.R. (2014). *"Acute effects of cadmium on osmoregulation of the freshwater teleost Prochilodus lineatus: enzymes activity and plasma ions".* Aquat. Toxicol., 156: 161-168.
- Dai, W.; Liu, S.; Fu, L.; Du, H.; Xu, Z. (2012). *"Lead (Pb) accumulation, oxidative stress and DNA damage induced by dietary Pb in tilapia (Oreochromis niloticus).* Aquaculture Research, 43: 208-214.
- Dailianis, S.; Kaloyianni, M. (2004). *"Cadmium induce both pyruvate kinase and Na+/H+ exchanger activity throug protein kinase C mediated signal transduction, in isolated digestive gland cells of Mytilus galloprovincialis (L)".* J. Exp. Biol., 207: 1665-1674.
- Dally, H.; Hartwig, A. (1997) *"Induction and repair inhibition of oxidative DNA damage by nickel (II) and cadmium (II) in mammalian cells".* Carcinogenesis, 18: 1021-1026.
- De Zwart, D. (1995). Monitoring Water Quality in the Future, Biomonitoring. Vol. 3. Bilthoven, The Netherlands
- Di-Giulio, R.T.; Habig, C.; Gallagher, E.P. (1993). "*Effects of black rock harbour sediments on indices of biotransformation, oxidative stress, and DNA integrity in channel catfish".* Aquatic Toxicology, 26: 1-22.
- Domitrovic, H.A. (1997). *"El empleo de peces autóctonos para la realización de ensayos de toxicidad: Evaluación de la especie Aequidens portalegrensis (Hensel, 1870)".* VI Jornadas de Ciencias Naturales del Litoral. Argentina.
- Domitrovic, H A.; Bechara, J.A.; Flores Quintana, C.; Roux, J.P.; Gavilán, G. (2000). *"A survey study of gas supersaturation and fish gas bubble disease in the Paraná River below Yacyretá Dam, Argentina".* Rev. Ictiol., 8 (1/2): 29-40
- Drąg-Kozak, E.; Pawlica-Gosiewska, D.; Gawlik, K.; Socha, M.; Gosiewski, G.; Łuszczek-Trojnar, E.; Solnica, B.; Popek, W. (2019). *"Cadmium-induced oxidative stress in Prussian carp (Carassius gibelio Bloch) hepatopancreas: ameliorating effect of melatonin".* Environ. Sci. Pollut. Res., 26: 12264-12279.
- Eisler, R.; Zarogian, G.; Kennekey, R. (1972). *"Cadmium uptake by organism".* J. Fish Res. Bd. Can., 29: 1367-1369.
- El-Gazzar, A.M.; Astry, K.E.; El-Sayed, Y.S. (2014). "*Physiological and oxidative stress biomarkers in the freshwater Nile tilapia, Oreochromis Niloticus L., exposed to sublethal doses of cadmium".* Alex. J. Vet. Sci., 40: 29-43.
- Evans, D. (1987). *"The fish gill: site of action and model for toxic ffects of environmental pollutants".* Environ. Health Perspect., 71: 47-58.
- Evans, P. (1995). *"Free radicals in brain metabolism and pathology".* Br. Med. Bull., 49: 577-587.
- Obiakor, M.O.; Okonkwo, J.C.; Ezeonyejiaku, C. (2014). *"Genotoxicity of freshwater ecosystem shows DNA damage in preponderant fish as validated by in vivo micronucleus induction in gill and kidney erythrocytes".* Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen., 775-776: 20-30.
- Falcó, G.; Llobet, J.; Bocio, A.; Domingo, J. (2006). *"Daily Intake of Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead by Consumption of Edible Marine Species".* J. Agric. Food Chem., 54: 6106-6112.

| Ferrer, A. (2003). *"Intoxicación por metales".* An. Sist. San. Navarra., 26: 141-153.

| Figueroa, L. (1998). *"Acumulación y depuración de cobre y cadmio en Orechromis mossambicus (Peters, 1952), (Pises: Cichlidae). Efectos subletales sobre el crecimiento en función de ARN/ADN".* Trabajo Especial de Grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 37p.

| Gaete, H.; Guerra, R.; Carvajal, D.; Vásquez, M.; Valladares, M.; Lobos, G. (2014). *"Evaluación de la genotoxicidad de las aguas costeras de Chile central sobre los peces Mugil cephalus y Odontesthes brevianalis".* Hidrobiológica 24 (3): 271-279.

| Gaete, A.H.; Álvarez, A.M.; Lobos, G.; Soto, C.E.; Jara-Gutiérrez, C. (2017). *"Assessment of oxidative stress and bioaccumulation of the metals Cu, Fe, Zn, Pb, Cd in the polychaete Perinereis gualpensis from estuaries of central Chile".* Ecotoxicol. Environ. Saf., 145: 653-658.

| Galán E.; Romero A. (2008). *"Contaminación de suelos por metales pesados".* Rev. Soc. Española Mineralog., MACLA, nº 10.

| Galvez, F.; Wong, D.; Wood, C.M. (2006). *"Cadmium and calcium uptake in isolated mitochondria- rich cell populations from the gills of the freshwater rainbow trout*". Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol., 291: 170-176.

| Gartner, L.; Hiatt, J. (2002). "*Texto Atlas de Histología"*. McGraw-Hill. México.

| Gay, C.; Gebicki, J. (2000). *"A critical evaluation of the effect of sorbitol on the ferric– xylenol orange hydroperoxide assay".* Anal. Biochem., 284: 217-220.

| Giari, L.; Manera, M.; Simon, E.; Dezfuli, B.S. (2007). *"Cellular alterations in differents organs of European sea bass Dicentrarchus labrax (L.) exposed to cadmium".* Chemosphere, 67: 1171-1181.

| Gioda, C.; Lissner, L.; Pretto, A.; Da Rocha, J.; Schetinger, M.; Neto, J.; Morsch, V.; Loro, V. (2007). *"Exposure to sublethal concentrations of Zn (II) and Cu (II) changes biochemical parameters in Leporinus obtusidens".* Chemosphere, 69: 170-175.

| González de Canales, M.L.; Jiménez-Tenorio, N.; Ortiz Delgado, J.B.; Blasco, J.; Arias García, A.M.; Del Valls, A.; Gómez Parra, A. (2001). *"Histopathological effects inmarine animals from the Guadalquivir estuary after the Aznalcóllar mining spill"*. In: SETAC Europe 11th Annual Meeting, Madrid, Spain, 6–10 May 2001.

| Gramlich, A.; Tandy, S.; Gauggel, C.; López, M.; Perla, D.; González, V.; Schulin R. (2018). *"Soil cadmium uptake by cocoa in Honduras"*. Sci. Tot. Environ., 612: 370-378.

| Gravato, C.; Teles, M.; Oliveira, M.; Santos, M.A. (2006). *"Oxidative stress, liver biotransformation and genotoxic effects induced by copper in Anguilla anguilla L–the influence of pre-exposure to beta-naphthoflavone".* Chemosphere, 65: 1821-1830.

| Gutiérrez-Reyes, E.Y.; Albores, A; Ríos, C. (1998) *"Increase of striatal dopamine release by cadmium in nursing rats and its prevention by dexamethasone-induced metallothionein".* Toxicology, 131: 145-154.

| Halliwell, B. (1995). *"Antioxidant characterization: Methodology and mechanism".* Biochem. Pharmacol., 49 (10): 1341-1348.

| Hirt, M.; Domitrovic, H.A. (2002). *"Toxicidad y respuesta histopatológica en Cichlasoma dimerus (Pisces, Cichlidae) expuestos a cloruro de cadmio en ensayos agudos y subletales".* Rev. Ictiol., 10 (1/2): 17-32.

| Huerta Jiménez, M.; Ortega Cerrilla, M. E.; Cobos Peralta, M.; Herrera Haro, J.G.; Díaz-Cruz, A.; Guinzberg Perrusquía, R. (2005). *"Estrés oxidativo y el uso de antioxidantes en animales domésticos"*. Interciencia, 30 (12): 728-734.

| Hwang, P.P.; Lee, T.H.; Lin, L.Y. (2011). *"Ion regulation in fish gills: recent progress in the cellular and molecular mechanisms: Am".* J. Physiol.- Reg. Integr. Comp. Physiol., 301: 28-47.

- I.A.R.C. (International Agency for Research on Cancer) (1993) *"Beryllium, cadmium, mercury, and exposures in the glass manufacturing industry".* En: International Agency for Research on Cancer Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, vol. 58. IARC Scientific Publications, Lyon. 119-237.
- Javed, M.; Ahmad, M.; Usmani, N.; Ahmad, M. (2017). "*Multiple biomarker responses (serum biochemistry, oxidative stress, genotoxicity and histopathology) in Channa punctatus exposed to heavy metal loaded waste wáter*". Sci. Rep. 10, 7 (1): 1675-1685.
- Jiménez, M.H.; Cerrilla, M.E.O.; Perahta, M.C.; Haro, J.G.H.; Cruz, A.D.; Perrusquia, R.G. (2005). *"Estrés, oxidativo y el uso de antioxidantes en animales domésticos".* Interciencia, Caracas, Venezuela, 30 (12): 728-734.
- Jomova, K.; Valko, M. (2011). *"Advances in metal-induced oxidative stress and human disease"*. Toxicology, 283 (2-3): 65-87.
- Karlsson-Norrgren, L.; Runn, P.; Haux, C.; Förlin, L. (1985). *"Cadmium- induced changes in gill morphology of zebrafish, Brachyderio rerio (Hamilton- Buchanan), and rainbow trout, Salmo gairdneri".* Richardson. J. Fish. Biol., 27: 81-95.
- Kelly, K.A.; Havrilla, C.M.; Brady, T.C.; Abramo, K.H.; Levin, E.D. (1998). "Oxidative stress in toxicology: established mammalian and emerging piscine model system". Environ. Health Perspect., 106 (7): 375-384.
- Koizumi, T.; Shirakura, H.; Kumagai, H.; Tatsumoto, H.; Suzuki, K.T. (1996) *"Mechanism of cadmiuminduced cytotoxicity in rat hepatocytes: cadmium-induced active oxygen-related permeability changes of the plasma membrane".* Toxicology, 114: 125-134.
- Kolf-Clauw, M.; Guénin, A.; López, M.P. (2007). "*Micromamíferos y metales pesados: Biomonitorización del medio ambiente*". Observatorio Medioambiental, 10: 19-37.
- Lafuente, A.; González-Carracedo, A.; Romero, A.; Esquifino, A.I. (2003). *"Effect of cadmium on 24-h variations in hypothalamic dopamine and serotonin metabolism in adult male rats".* Exp. Brain Res., 149: 200-206.
- Lee, J.; Dutta, R.; Maharjan, Y.; Liu, Z.; Lim, J.; Kim, S.; Cho, D.; So, H.; Choe, S.; Park, R. (2018). *"Catalase inhibition induces pexophagy through ROS accumulation".* Biochem. Biophys. Res. Communications, 501: 696-702.
- Lionetto, M.G.; Maffia, M.; Cappello, M.S.; Giordano, M.E.; Storelli, C.; Schettino, T. (1998). "*Effect of cadmium on carbonic anhydrase and Na+-K+-ATPase in eel, Anguilla anguilla, intestine and gills".* Comp. Biochem. Physiol: Part A, 120: 89-91.
- López, E.; Arce, C.; Oset-Gasque, M.; Canadas, S.; Gonzalez, M. (2006). *"Cadmium induces reactive oxygen species generation and lipid peroxidation in cortical neurons in culture".* Free Radic. Biol. Med. 40: 940-951.
- Łuczyńska, J.; Paszczyk, B.; Łuczyński, M.J. (2018). "Fish as a bioindicator of heavy metals pollution in aquatic ecosystem of Pluszne Lake, Poland, and risk assessment for consumer's health". Ecotoxicol. Environ. Saf., 153: 60-67.
- Luna, L.G. (1968). "*Manual of Histologic Staining Methods of the Armed Forces Institute of Pathology*". McGraw-Hill. NewYork.
- MacDonald, A.; Silk, L.; Schwartz, M.; Playle R. (2002*). "A lead-gill bindin model to predict acute lead toxicity to rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)".* Comparative Biochemistry and Physiology. Part C, Toxicol. Pharmacol., 133: 227-242.
- Márquez-García, B.; Córdoba, F. (2010). *"Antioxidative system in wild populations of Erica andevalensis"*. Environ. Exp. Bot., 68 (1): 58-65.
- Martínez, S. (2005). *"El cerdo joven como bioindicador de concentraciones bajas de genotóxicas, mediante la prueba de micronúcleos en eritrocitos de sangre periférica"*. Trabajo de grado Doctor en Ciencias básicas. Colima, México: Universidad de Colima. Facultad de Medicina, 2005. p. 21.

- Mazon, A.F.; Cerqueira, C.C.C; Fernandes, M.N. (2002). "*Gill Cellular Changes Induced by Copper Exposure in the South American Tropical Freshwater Fish Prochilodus scrofa*". Environ. Res., 88 (1): 52-63.
- McCord, J.; Fridovich, L. (1969). *"Superoxide dismutase. An enzymic function for crythrocuprein (hemocuprein)".* J. Biol. Chem., 244: 6049-6055.
- McDowell, R.W. (2009). *"Is cadmium loss in surface runoff significant for soil and surface water quality: a study of flood-irrigated pasture"*. Water Air Soil Pollut., 209: 133-142.
- McGeer, J.C.; Szebedinszky, C.; Mcdonald, D.G.; Wood, C.M. (2000*). "Effects of chronic sublethal exposure to waterborne Cu, Cd or Zn in rainbow trout 2: tissue- specific metal accumulation*". Aquat. Toxicol., 50: 245-256.
- McGeer, J.C.; Niyogi, S.; Smith, D.S. (2012). *"Cadmium".* En: Wood, C.M., Farrell, A.P., Brauner, C.J. (Eds.), Homeostasis and Toxicology of Non-Essential Metals. Elsevier London, UK, pp. 125–184.
- McRae, N.K.; Gaw, S.; Glover, C.N. (2016). *"Mechanisms of zinc toxicity in the galaxiid fish, Galaxias maculatus"*. Comp. Biochem. Physiol. Part C: Toxicol. Pharmacol., 179: 184-190.
- McRae, N.K.; Gaw, S.; Glover, C.N. (2018) *"Effects of waterborne cadmium on metabolic rate, oxidative stress, and ion regulation in the freshwater fish, inanga (Galaxias maculatus)"*. Aquat. Toxicol., 194: 1–9.
- Mirończuk-Chodakowska, I.; Witkowska, A.M.; Zujko, M.E. (2018). *"Endogenous non-enzymatic antioxidants in the human body".* Adv. Med. Sci., 63: 68-78.
- Monteiro S.M.; Mancera J.M.; Fontaínhas-Fernandes A.; Sousa M. (2005). *"Copper induced alterations of biochemical parameters in the gill and plasma of Oreochromis niloticus"*. Comp. Biochem. Physiol. Part C., 141: 375-383.
- Moiseenko, T.I.; Kudryavtseva, L.P. (2001). "Trace metal accumulation and fish pathologies in areas affected by mining and metallurgical enterprises in the Kola Region, Russia". Environ. Pollut., 114 (2): 285-297.
- Murphy, V. (1997). *"Cadmium: acute and chronic neurological disorders".* En: Yasui M, Strong MJ, Ota K, et al, (eds) Mineral and metal: neurotoxicology. Boca Raton: CRC, 229-240.
- Myers, M.S.; Stehr, C.M.; Olson, O.P.; Johnson, L.L.; McCain, B.B.; Chan, S.-L.; Varanasi, U. (1994). *"Relationships between toxicopathichepatic lesions and exposure to chemical contaminants in Englishsole (Pleuronectes vetulus), starry flounder (Platichthys stellatus), andwhite croaker (Genyonemus lineatus) from selected marine sites onthe Pacific coast, USA*". Environ. Health Perspect., 102: 200-214.
- Nair, A.R.; Degheselle, O.; Smeets, K.; Van Kerkhove, E.; Cuypers, A. (2013). *"Cadmium induced pathologies: where is the oxidative balance lost (or not)".* Int. J. Mol. Sci., 14: 6116-6143.
- Nunes, B.; Caldeira, C.; Pereira, J.L.; Goncalves, F.; Correia, A.T. (2015). *"Perturbations in ROS-related processes of the fish Gambusia holbrooki after acute and chronic exposures to the metals copper and cadmium".* Environ. Sci. Pollut. Res. Int., 22: 3756-3765.
- Nusetti, O.; Tovar, M.; Zapata-Vívenes, E. (2010). *"Pyruvate kinase, phosphoenolpyruvate carboxykinase, cytochrome c oxidase and catalase activities in cadmium exposed Perna viridis subject anoxic and aerobic conditions".* J. Shellfish. Res., 29 (1): 203-208.
- Oliva, M.; Garrido, M.C.; Pérez, E.; González de Canales, M.L. (2007) *"Evaluation of acute copper toxicity during early life stages of gilthead seabream, Sparus aurata".* J. Environ. Sci. Health, Part A, 42 (4): 525-533.
- Oliva, M.; Garrido, M.C.; Sales Márquez, D.; González de Canales, M.L. (2009) *"Sublethal and lethal toxicity in juvenile Senegal sole (Solea senegalensis) exposed to copper: a preliminary toxicity range-finding test"*. Exp. Toxicol. Pathol., 61(2): 113–121.

- Oliva, M.; José Vicente, J.; Gravato, C.; Guilhermino, L.; Galindo-Riaño, M.D. (2012). *"Oxidative stress biomarkers in Senegal sole, Solea senegalensis, to assess the impact of heavy metal pollution in a Huelva estuary (SW Spain): seasonal and spatial variation".* Ecotoxicol. Environ. Saf. Jan., 75 (1): 151-162.
- Ong, W.; He, X.; Chua, L.; Ong, C. (2006). *"Increased uptake of divalent metals lead and cadmium into the brain after kainiteinduced neuronal injury".* Exp. Brain Res., 173: 468-474.
- Ortiz, J.B.; González de Canales, M.L.; Sarasquete, C. (2003). *"Histopathological changes induced by lindane (γ-HCH) in various organs of fishes".* Sci. Mar., 67 (1): 53-61
- Pandey, G.; Madhury, S. (2014). *"Heavy metals causing toxicity in animals and fishes".* Res. J. An. Vet. Fish. Sci., 2: 17-23.
- Parveen, N.; Shadab, G. (2012). *"Cytogenetic evaluation of cadmium chloride on Channa punctatus".* J. Environ. Biol., 33 (3): 663-666.
- Pereira, L.S.; Ribas, J.L.; Vicari, T.; Silva, S.B.; Stival, J.; Baldan, A.P.; Valdez Domingos, F.X.; Grassi, M.T.; Cestari, M.M.; Silva De Assis, H.C. (2016). "*Effects of ecologically relevant concentrations of cadmium in a freshwater fish*". Ecotoxicol. Environ. Saf., 130: 29-36.
- Pérez, P.; Pérez, J. (2000) *"Métodos para medir el daño oxidativo".* Rev. Cub. Med. Mil., 29 (3): 192-198.
- Pohl, H.R.; Abadin, H.; Risher, J.F. (2006). *"Neurotoxicity of Cadmium, Lead, and Mercury".* En: Sigel A, Sigel H, Sigel RKO (eds) Neurodegenerative diseases and metal ions. Vol 1. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, England, pp 474.
- Powers, D.A. (1989). *"Fish as model systems".* Science, 246: 352-358.
- Prakash, M.T.; Jagannatha-Roa, K.S. (1995). *"Modulations of antioxidant enzymes in different tissues of marine bivalves Perna viridis during heavy metal exposure".* Mol. Cell. Biochem., 146 (2): 107-113.
- Pretto, A.; Loro, V.L.; Baldisserotto, B.; Pavanato, M.A.; Mores, B.S.; Menezes, C.H.; Cattaneo, R.; Clasen, B.; Finamor, I.A.; Dressler, V. (2011). *"Effects of water cadmium concentrations on bioaccumulation and various oxidative stress parameters in Rhamdia quelen".* Arch. Environ. Contam. Toxicol., 60: 309-318.
- Rajkumar, J.; Milton, J.; Ambrose, T. (2011*) "Toxicity of cadmium, copper, lead and zinc to the juveniles of perna viridis".* Int. J. Chem. Sci., 9 (2): 553-556.
- Ramírez, A. (2002). "*Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos".* Anales de la Facultad de Medicina, 63: 51-64.
- Ramírez-Duarte, W.F.; Kurobe, T.; Teh, S.J. (2017). *"Effects of low levels of ultraviolet radiation on antioxidant mechanisms of Japanese Medaka (Oryzias latipes)".* Chemosphere, 181: 304-312.
- Repetto, G.; Bejarano, A.; Jiménez, M. (2008). *"La regulación de la protección frente al riesgo por agentes físicos".* Rev. Toxicol., 25.
- Roberts, A.P.; Oris, J.T. (2004). *"Multiple biomarker response in rainbow trout during exposure to hexavalent chromium"*. Comp. Biochem. Physiol. Part C, 138: 221-228.
- Rodríguez-Perón, J.M.; Menéndez López, J.R.; Trujillo López, Y. (2001). "*Radicales libres en la biomedicina y estrés oxidativo"*. Rev. Cubana Med. Mil., 30 (1): 15-20.
- Rodríguez-Cea. A.; Ayllón, F.; García-Vázquez, E. (2003). *"Micronucleus test in freshwater fish species: an evaluation of its sensitivity for application in field surveys".* Ecotoxicol. Environ. Saf., 56: 442-448.
- Rodríguez-Rey, A.; Noris-García, E.; Fundora-Torres, M.T. (2016). *"Principios y relevancia del ensayo cometa".* Rev. Cubana Invest. Biomed., 35 (2): 184-194.

- Roméo, M.; Bennani, N.; Gnassia-Barelli, M.; Lafaurie, M.; Girard, J.P. (1999). *"Cadmium and copper display different responses towards oxidative stress in the kidney of the sea bass Dicentrarchus labrax".* Aquat. Toxicol., 48 (2-3): 185-194.
- Romero, A.; Cabaleiro, T.; Caride, A.; Lafuente, A. (2008) *"Posible papel protector de la melatonina frente a la toxicidad neuroendocrina inducida por cadmio*. Rev. Toxicol., 25: 3-11.
- Sabti, H; Hossain, Md.M.; Brooks, R.R.; Stewart, R.B. (2000) *"The current environmental impact of base-metal mining at the Tui Mine, Te Aroha, New Zealand".* J. R. Soc. New Zealand, 30 (2): 197-207.
- Saglam, D.; Atli, G.; Canli, M. (2013). *"Investigations on the osmoregulation of freshwater fish (Oreochromis niloticus) following exposures to metals (Cd, Cu) in differing hardness"*. Ecotoxicol. Environ. Saf., 92: 79-86.
- Sainz, A.; Grande, J.A.; De la Torre, M.L. (2004). *"Characterisation of heavy metal discharge into the Ria of Huelva".* Environ. Internat., 30: 557-566.
- Sánchez Moyano, E.; García Asencio, I.; García Adiego, E.; Leal Gallardo, A.; Ollero De Castro, C.; Fraidías Amarillo, J. (2005*). "Vigilancia ecológica del litoral andaluz (I). Monitorización de la macrofauna del sedimento y calidad ambiental de los fondos sublitorales".* Ed. Junta de Andalucía - Consejería del Medio Ambiente, I.S.B.N.: 84-96329-46-1.
- Sánchez-Galán, S.; Linde, A.R.; García-Vázquez, E. (1999). *"Brown trout and European minnow as target species for genotoxicity tests: differential sensitivity to heavy metals"*. Ecotoxicol. Environ. Saf., 43: 301-304.
- Sánchez-Galán, S.; Linde, A.R.; Ayllón, F.; García-Vázquez, E. (2001). *"Induction of micronuclei in eel (Anguilla anguilla L.) by heavy metals".* Ecotoxicol. Environ. Saf., 49: 139-143.
- Sarmiento, A.M.; Nieto, J.M.; Olías, M. (2004). *"The contaminant load transported by the river Odiel to the Gulf of Cádiz (SW Spain)"*. Appl. Earth Sci.; 113 (2): 117–22.
- Schmid W (1975). *"The micronucleus test"*. Mutat. Res., 31: 9-15.
- Seregin, I.; Ivanov, V. (2001). *"Physiological Aspects of Cadmium and Lead Toxic Effects on Higher Plants".* Russ. J. Plant. Physiol., 48: 523-544.
- Shafaqat, A.; Mujahid, F.; Saima, B.; Rehan, A. (2014). *"Effect of different heavy metal pollution on fish".* Res. J. Chem. Envi. Sci., 2: 74-79.
- Sies, H. (1997). *"Oxidative stress: oxidants and antioxidants".* Exp. Physiol., 82: 291-295.
- Soldevilla, M.; Marañón, T.; Cabrera, F. (1992). *"Heavy metal content in soil and plants from a pyrite mining area in Southwest Spain"*. Communicat. Soil Sci. Plant Anal., 23 (11-12): 1301-1319.
- Sokolova, I.M. (2004). *"Cadmium effects on mitochondrial function are enhanced by elevated temperatures in a marine poikilotherm, Crassostrea virginica Gmelin (Bivalvia: Ostreidae)".* J. Exp. Biol., 207: 2639-2648.
- Storelli, M.M.; Marcotrigiano, G.O. (2004). *"Content of mercury and cadmium in fish (Thunnus alalunga) and cephalopods (Eledone moschata) from the south-eastern Mediterranean Sea"*. Food Additives and Contaminants, 21 (11): 1051-1056.
- Storelli, M.M; Giacominelli-Stuffler, R.; Storelli, A.; Marcotrigiano, G.O. (2005). *"Accumulation of mercury, cadmium, lead and arsenic in swordfish and bluefin tuna from the Mediterranean Sea: A comparative study"*. Mar. Pollut. Bull., 50: 993–1018
- Tafanelli, R.; Summerfelt R. (1975). *"Cadmium-Induced histopathological changes in goldfish".* EN: The pathology of fishes. Edited By Ribelin y Migaki. The University of Wisconsin Press., 25: 613-693.

- Thevenod, F.; Friedmann, J.M.; Katsen, A.D.; Hauser, I.A. (2000) *"Upregulation of multidrug resistance P-glycoprotein via nuclear factor-kappaB activation protects kidney proximal tubule cells from cadmium- and reactive oxygen species-induced apoptosis*". J Biol Chem., 275: 1887-1896.
- Thomas, P.; Wofford, H.W. (1993*). "Effects of cadmium and aroclor 1254 on lipid peroxidation glutathione peroxidase activity, and selected antioxidants in Atlantic croaker tissues".* Aquat. Toxicol., 27: 159-177.
- Udroiu, I. (2006). *"The micronucleus test in piscine erythrocytes".* Aquat. Toxicol., 23: 201-214.
- Van Der Oost, R.; Beyer, J.; Vermeulen, N.P.E. (2003). *"Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk"*. Assessment Environ. Toxicol. Pharmacol., 13: 57-149.
- Velma, V.; Tchounwou, P.B. (2010). *"Chromium-induced biochemical, genotoxic and histopathologic effects in liver and kidney of goldfish, Carassius auratus".* Mutat. Res., 698: 43-51.
- Verbost, P.M.; Flik, G.; Lock, R.A.C.; Wendelaar Bonga, S.E. (1987). *"Cadmium inhibition of Ca2+ uptake in rainbow trout gills"*. Am. J. Physiol., 253: 216-221.
- Vieira, M.C.; Torronteras, R.; Córdoba, F.; Canalejo, A. (2012*). "Acute toxicity of manganese in goldfish Carassius auratus is associated with oxidative stress and organ specific antioxidant responses".* Ecotoxicol. Environ. Saf., 78: 212-217.
- Vieira da Cunha, K.P.; Araújo do Nascimento, C.W.; Magalhães de Mendonça Pimentel, R., Pereira Ferreira, C. (2008). *"Cellular localization of cadmium and structural changes in maize plants grown on a cadmium contaminated soil with and without liming".* J. Hazard. Mater., 160 (1): 228-234.
- Vigliano, F.A.; Aleman, N.; Quiroga, M.I.; Nieto, J.M. (2006). *"Ultrastructural characterization of gills in juveniles Argentinian Silverside, Odontesthes bonariensis (Valenciennes, 1835) (Teleostei: Atheriniformes)"* Anat. Histol. Embryol., 35: 76–83.
- Vranová, E.; Inzé, D.; Van Breuseguem, F. (2002). *"Signal transduction during oxidative stress".* J. Exp. Bot., 53: 1227-1236.
- Waisberg, M.; Joseph, P.; Hale, B.; Beyersmann, D. (2003). *"Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogénesis"*. Toxicology, 192: 95-117.
- Wang, J.; Zhang, H.; Zhang, T.; Zhang, R.; Liu, R.; Chen, Y. (2015). *"Molecular mechanism on cadmium-induced activity changes of catalase and superoxide dismutase"*. Int. J. Biol. Macromol., 77: 59-67.
- Yadav, K.K.; Trivedi, S.P. (2009*) "Sublethal exposure of heavy metals induces micronuclei in fish, Channa punctata*". Chemosphere, 77: 1495-1500.
- Yu, B.P. (1994). *"Cellular defenses against damage from reactive oxygen species".* Physiol. Rev., 74: 139-163.
- Zelikoff, J.T.; Bowser, D.; Squibb, K.S.; Frenkel, K. (1995). "*Immunotoxicity of low-level cadmium exposure in fish: an alternative animal model for immunotoxicological studies*". J. Toxicol. Environ. Health;45 (3): 235–248.
- Zhu, Y.; Wang, J.; Bai, Y.; Zhang, R. (2004) *"Cadmium, chromium, and copper induce polychromatocyte micronuclei in carp (Cyprinus carpio L.)".* Bull. Environ. Contam. Toxicol., 72: 78-86.
- Zúñiga, G; Gómez, B. (2006). *"La prueba de micronúcleos"* En: Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana, 19 (1).



07

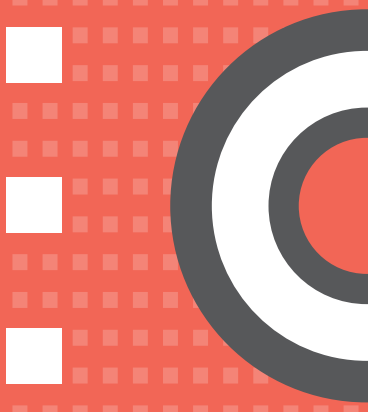
Moluscos dulceacuícolas de Huelva

Juan Carlos Pérez Quintero *

Área de Zoología. Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales. Centro de Investigación RENSMA. Campus de Excelencia CeiMar. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España.

* Corresponding author | Dr. Juan Carlos Pérez Quintero || jcperez@uhu.es

Tel.: +34 959 21 98 89 || Fax: +34 959 21 94 67



Moluscos dulceacuícolas de Huelva

Juan Carlos Pérez Quintero

PALABRAS CLAVE

Huelva, gasterópodos, bivalvos, distribución, hábitat, conservación



Melanopsis praemorsa

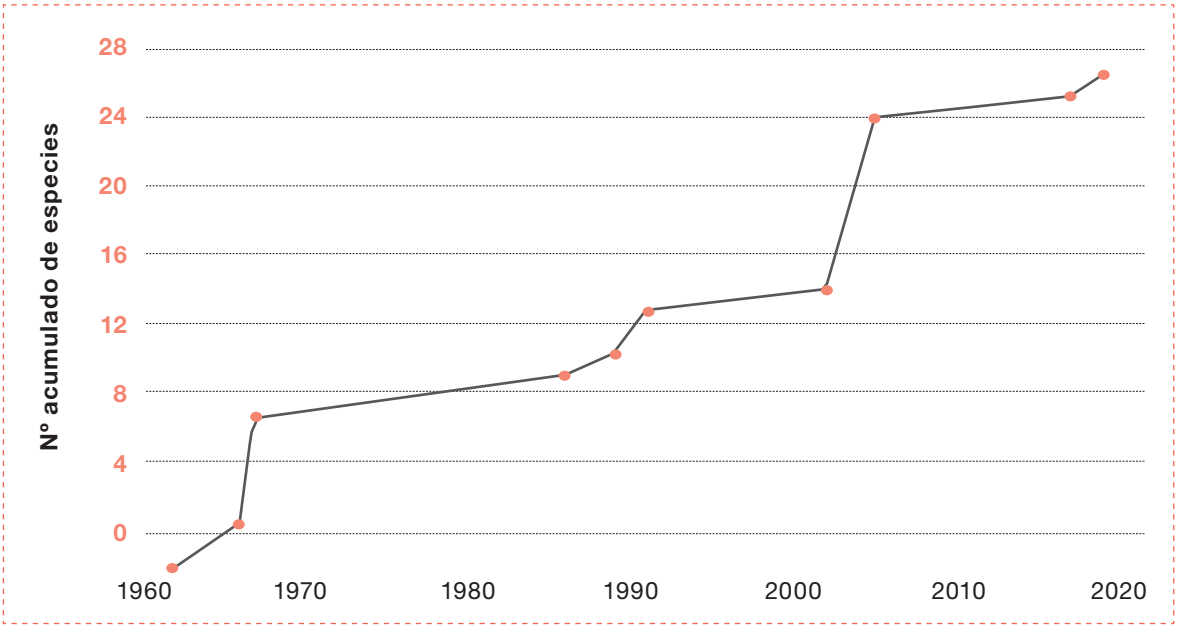
[1]
Introducción

La fauna de invertebrados de Huelva ha sido, en general, poco estudiada. Existe gran cantidad de información acerca de la estructura de las comunidades en entornos emblemáticos como el Parque Nacional de Doñana o el Paraje Natural Marismas del Odiel, pero del resto de la provincia sólo se conocen mosaicos aislados.

Mientras que en los contextos andaluz e ibérico se conoce razonablemente bien la fauna de moluscos terrestres (ver por ejemplo Ruiz *et al.*, 2006; Cadevall y Orozco, 2016), la información sobre la faunística y distribución de los moluscos de agua dulce (Gasterópodos y Bivalvos) es fragmentada, relativamente escasa, escalonada en el tiempo y carente de nexos de unión con otros grupos de macroinvertebrados dulceacuícolas.

El número acumulado de especies de moluscos de agua dulce descritas en la provincia sigue un perfil claramente ascendente desde mediados del pasado siglo (Ortiz de Zárate y Ortiz de Zárate, 1961; Bigot y Marazanof, 1965; Marazanof, 1966; Gasull, 1985; Pérez-Quintero, 1988, 1990; Álvarez *et al.*, 2001; Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Martín *et al.*, 2016; Quiñonero-Salgado *et al.*, 2018). En este capítulo se recapitula información sobre 12 familias, 30 géneros y 32 especies (26 autóctonas y 6 introducidas). Cabe destacar, igualmente, la presencia de una nueva especie introducida en nuestra fauna (*Sinanodonta woodiana*), hasta ahora sólo descrita en el noroeste de la Península Ibérica (Pou-Rovira *et al.*, 2009; López-Soriano *et al.*, 2017).

En las páginas que vienen a continuación se representa con círculos verdes las cuadrículas UTM donde se han encontrado las especies autóctonas y con círculos rojos las cuadrículas donde se han encontrado especies introducidas.



GLOSARIO | (adaptado de Muñiz, 2002; Lawrence, 2003 y Lincoln *et al.*, 2003).

AUTÓCTONA | especie originaria de la localidad en que reside.

COBERTURA | porcentaje de presencia de una especie en el entramado UTM de la provincia.

DEXTRÓGIRA | concha de gasterópodo que tiene su abertura en el lado derecho cuando se la observa con el ápice dirigido hacia arriba.

INTRODUCIDA | especie no nativa de la localidad donde reside.

LÉNTICOS | hábitats de aguas estancadas (pantanos, lagos, charcas).

LEVÓGIRA | concha de gasterópodo que tiene su abertura en el lado izquierdo cuando se la observa con el ápice dirigido hacia arriba.

LÓTICOS | hábitats de aguas corrientes (ríos, arroyos).

OMBLIGO | cavidad en la base de la concha de gasterópodos alrededor de la cual se desarrollan las vueltas de espira.

OPÉRCULO | placa córnea o calcárea que sirve para obstruir la abertura de la concha cuando el cuerpo del animal se retrae en el interior de la misma.

UICN | Unión internacional para la conservación de la naturaleza. Esta organización internacional edita las llamadas “Listas Rojas”, donde aparece el estado de conservación de animales y plantas a escala mundial.

UTM | siglas de “Universal Transverse Mercator”, sistemas de coordenadas universal.

Melanopsis praemorsa (Linnaeus, 1758) [LÁMINA 07-1.A]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, ORDEN: Caenogastropoda, FAMILIA: Melanopsidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Marrón oscura, operculada, lisa, espiralizada y muy apuntada, 6 vueltas de espira, 10.0-25.0 x 6.0-10.0 mm, apertura dextrógira interrumpida por un pequeño sifón, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Europa, norte de África, Turquía y próximo oriente. En Huelva en la cuenca del Guadalquivir. Autóctona. COBERTURA: 2.7%.
HÁBITAT | En cursos de aguas dulces permanentes, lóticos y lénticos (riveras, acequias y embalses), en zonas de cabecera, con escasa contaminación y elevado contenido en oxígeno. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 8.3, Conductividad (Co): 317.6 µS/cm, Turbidez (Tu): 211.0 mg/l. Sobre sustratos fangosos o rocosos.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Sensible a la polución y degradación del entorno de origen antrópico en general. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Gasull, 1985; Glaubrecht, 1996; Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero, 2009; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Bithynia tentaculata (Linnaeus, 1758) [LÁMINA 07-1.B]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, ORDEN: Littorinimorpha, FAMILIA: Bithyniidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Color marrón-amarillento, operculada, lisa, espiralizada y apuntada con 5 a 6 vueltas de espira y suturas profundas, la última grande y ventruda, 7.0-15.0 x 5.0-9.0 mm, apertura dextrógira, apuntada y continua, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Europa. En Huelva en la cuenca del Guadiana. Autóctona. COBERTURA: 2.7%.
HÁBITAT | En cursos de aguas dulces lóticas (riveras), permanentes y estacionales de escasa profundidad, en zonas de curso medio, con escasa contaminación. Sobre sustratos fangosos, rocosos y macrófitos.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Las profundas alteraciones del hábitat producidas por la Presa del Andévalo y, más distante, el Embalse de Alqueva, han producido una sensible disminución de sus poblaciones. Sensible a los episodios de disminución hídrica producidos por el estiaje y la extracción del agua para el riego. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero, 2007, 2011; Welter-Schultes, 2012; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Welter-Schultes via Wikimedia Commons.

Aretiana wolfi (Boeters y Glöer, 2007) [LÁMINA 07-1.C]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, ORDEN: Littorinimorpha, FAMILIA: Hydrobiidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Dextrógira. Color oscuro, operculada, lisa, valvatiforme con 3.5 vueltas de espira y suturas profundas, 1.3-1.6 x 1.6-1.8 mm, apertura dextrógira, redondeada y continua, con ombligo ancho.
DISTRIBUCIÓN | Europa. En Huelva en las cuencas del Odiel, Guadiana y Guadalquivir. Autóctona y endémica. COBERTURA: 6.4%.
HÁBITAT | En manantiales y cursos de aguas dulces lóticas (riveras) de cabecera permanentes, frías y no contaminadas. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 7.7, Co: 284.1, Tu: 214.7. Sobre sustratos fangosos, rocosos y macrófitos.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Su carácter endémico acentúa la presión ejercida por el eventual estiaje de cursos de cabecera y la extracción de aguas freáticas para usos agrícolas o de recreo. CATEGORÍA UICN: Vulnerable (Vu).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Arconada y Ramos, 2007a, b; Arconada, Ramos y Moreno, 2008; Boeters y Glöer, 2007; Pérez-Quintero, 2009, 2011, 2012; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Guadiella pilelongata (Quiñonero-Salgado, Martín, López y Rolán, 2018) [LÁMINA 07-1.D]
CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, ORDEN: Littorinimorpha, FAMILIA: Hydrobiidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Dextrógira. Color blancuzco, operculada, lisa, espiralizada y apuntada con 4 vueltas de espira y suturas patentes, 1.7 x 0.6 mm, apertura dextrógira, ovalada y continua, ombligo pequeño y estrecho.
DISTRIBUCIÓN | Europa. En Huelva en una localidad de la cuenca del Guadiana. Autóctona y endémica. COBERTURA: 0.9%.
HÁBITAT | En manantiales y fuentes, no se conocen ejemplares vivos.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Al tener una distribución tan localizada, cualquier acción antrópica que altere el manantial donde reside esta especie puede acabar con su población. CATEGORÍA UICN: No evaluada (Ne).
BIBLIOGRAFÍA | Quiñonero-Salgado *et al.*, 2018; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | S. Quiñonero-Salgado.

Iberhoratia morenoi Arconada, Delicado y Ramos, 2007 [LÁMINA 07-2.A]
CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, ORDEN: Littorinimorpha, FAMILIA: Hydrobiidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Dextrógira. Transparente, operculada, lisa, espiralizada y apuntada con 3-3.5 vueltas de espira y suturas profundas, 0.8-1.2 x 1.2-1.5 mm, apertura dextrógira, apuntada y continua, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Europa. En Huelva en una localidad de la cuenca del Guadalquivir. Autóctona, endemismo Ibérico.
HÁBITAT | En fuentes.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Su carácter endémico acentúa la presión ejercida por la acción humana. CATEGORÍA UICN: Vulnerable (Vu).
BIBLIOGRAFÍA | Arconada *et al.*, 2007c, 2008; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | Fernando García-Guerrero, http://www.fauna-iberica.mncn.csic.es/proyecto/

Mercuria sp. [LÁMINA 07-2.B]
CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, ORDEN: Littorinimorpha, FAMILIA: Hydrobiidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Translúcida o parda, operculada, lisa, oval-cónica y apuntada con 4.5 vueltas de espira y suturas profundas, 3.0-3.5 x 2.2-2.5 mm, apertura dextrógira, oval y continua, ombligo estrecho.
DISTRIBUCIÓN | Europa. En Huelva en la cuenca del Guadiana frontera con Portugal. Autóctona. COBERTURA: 2.7%.
HÁBITAT | Ríos y arroyos con escasa influencia mareal. Sobre rocas y entre sedimentos.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Sequía, extracción de aguas para la agricultura y represamientos como la Presa del Andévalo y el Embalse de Alqueva. CATEGORÍA UICN: Datos insuficientes (Dd).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Glöer *et al.*, 2015; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Peringia ulvae (Pennant, 1777) [LÁMINA 07-2.C]
CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, ORDEN: Littorinimorpha, FAMILIA: Hydrobiidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Parda, operculada, lisa, espiralizada y apuntada con 5-7 vueltas de espira no muy profundas, 4.0-5.5 x 2.5-3.0 mm, apertura dextrógira, redondeada y continua, con ombligo ancho.
DISTRIBUCIÓN | Europa. En Huelva en las cuencas del Guadiana y Piedras. Autóctona. COBERTURA: 4.5%.
HÁBITAT | En aguas salobres: zona intermareal de playas, marismas mareales y estuarios., Entre sedimentos.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Presión de origen antrópico, contaminación generalizada. CATEGORÍA UICN: No evaluada (Ne).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2007, 2013; Welter-Schultes, 2012; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Potamopyrgus antipodarum (Gray, 1843) [LÁMINA 07-2.D]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, ORDEN: Littorinimorpha, FAMILIA: Tateidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Parda clara u oscura, operculada, lisa, espiralizada y apuntada con 5-8 vueltas de espira no muy profundas, 3.0-4.5 x 1.5-2.2 mm, apertura dextrógira, ovalada y continua, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Gran potencial invasor. Originaria de Nueva Zelanda. En Huelva en las cuencas del Guadiana, Piedras, Odiel, Tinto y Guadalquivir. Introducida. COBERTURA: 7.2%.
HÁBITAT | Ubicua en la provincia. En aguas salobres (marismas intermareales) y dulces (riveras, ríos y embalses). Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 7.9, Co: 444.0, Tu: 294.3. Sobre sustratos fangosos, rocosos y macrófitos.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Por su abundancia y densidad esta especie amenaza seriamente a las especies autóctonas. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2007, 2009, 2013; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Galba truncatula (O.F. Müller, 1774) [LÁMINA 07-3.A]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Lymnaeidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Parda clara o blancuzca, estriada, espiralizada y apuntada con 5-6 vueltas de espira, 5.0-12.0 x 2.0-6.0 mm, apertura dextrógira, ovalada y continua, con ombligo profundo.
DISTRIBUCIÓN | En la mayor parte de los continentes. En Huelva en las cuencas del Guadiana, Piedras, Odiel, Tinto y Guadalquivir. Autóctona. COBERTURA: 34.2%.
HÁBITAT | Semiterrestre. A menudo sobre y bajo rocas y vegetación de riveras y humedales, común en el exterior de fuentes y acequias. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 7.9, Co: 298.4, Tu: 245.4.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Son difíciles de evaluar al ser una especie muy extendida en la provincia, no obstante las alteraciones generalizadas del hábitat supondrían una amenaza común para esta y todas las especies analizadas. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2007, 2009, 2011, 2013; Welter- Schultes, 2012; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Peregriana labiata (Rossmässler, 1835) [LÁMINA 07-3.B]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Lymnaeidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Parda clara, espiralizada y apuntada con 4.5-5 vueltas de espira con suturas profundas, la última alargada y estrecha, 12.0-20.0 x 7.0-13.0 mm, apertura dextrógira, ovalada y continua, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Europa y norte de África. En Huelva ampliamente distribuida en las cuencas del Guadiana, Odiel, Tinto y Guadalquivir. Autóctona. COBERTURA: 30.6%.
HÁBITAT | Aguas dulces, lénticas y lóticas, entre sedimento. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 7.9, Co: 324.4, Tu: 233.5. Sobre rocas, sedimentos y vegetación de cursos de agua.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Déficit hídrico producido por sequía o extracción de aguas para agricultura.
CATEGORÍA UICN: No evaluada (Ne).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2007, 2009, 2011, 2013; AnimalBase; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | Wikimedia Commons.

Pseudosuccinea columella (Say, 1817) [LÁMINA 07-3.C]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Lymnaeidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Parda clara, translúcida, fina y finamente estriada, espiralizada y apuntada con 3.5-4 vueltas de espira, la última alargada y estrecha, 5.0-9.0 x 2.0-4.5 mm, apertura dextrógira, ovalada y continua, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Gran potencial invasor. Continente americano, Australia y Europa. En Huelva en las cuencas del Guadiana y Piedras. Introducida. COBERTURA: 2.7%,
HÁBITAT | Aguas dulces y salobres, lénticas y lóticas, entre sedimento. Entre sedimentos.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Al ser una especie introducida ella es la amenaza para las autóctonas. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | AnimalBase; Martín *et al.*, 2016; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | S. Quiñonero-Salgado.

Radix auricularia (Linnaeus, 1758) [LÁMINA 07-3.D]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Lymnaeidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Parda clara, espiralizada y apuntada con 4-5 vueltas de espira, las superiores son pequeñas y la última está inflada y ocupa, aproximadamente, el 90% de la concha, 14.0-24.0 x 12.0-18.0 mm, apertura dextrógira, "auriculiforme" y continua, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Europa, Asia y Norteamérica. En Huelva en las cuencas del Guadiana y Guadalquivir. Autóctona. COBERTURA: 3.6%.
HÁBITAT | Aguas dulces, lénticas y lóticas. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 8.1, Co: 304.5, Tu: 209.2. Entre sedimento, sobre rocas y vegetación de cursos de agua.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Déficit hídrico producido por sequía o extracción de aguas para agricultura. CATEGORÍA UICN. Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2007, 2009, 2011b, 2012; Welter- Schultes, 2012; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | Wikimedia Commons.

Stagnicola palustris (O.F. Müller, 1774) [LÁMINA 07-4.A]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Lymnaeidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Parda y finamente estriada, espiralizada y apuntada con 4.5-6 vueltas de espira y sutura marcada, 10.0-18.0 x 6.0-10.0 mm, apertura dextrógira, ovalada y continua, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Europa. En Huelva en una localidad de la cuenca del Odiel. Autóctona. COBERTURA: 0.9%.
HÁBITAT | Aguas dulces, lóticas. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 8.1, Co: 264.7, Tu: 211.7. Entre sedimentos, sobre rocas y vegetación
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Turismo, sequía generalizada del entorno donde reside. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2009, 2012; Welter-Schultes, 2012; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Huertas.

Physella acuta (O.F. Müller, 1774) [LÁMINA 07-4.B]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Physidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Pardo claro a blancuzco (cuando el animal está vivo se distinguen manchas doradas del manto), espiralizada y apuntada con 4-6 vueltas de espira y sutura marcada, la abertura ocupa

casi las ¾ partes de la concha, 8.0-16.0 x 4.5-9.0 mm, apertura levógira, ovalada y continua, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Norteamérica. En Huelva presente y abundante en todas las cuencas. Introducida. COBERTURA: 84.7%.
HÁBITAT | Aguas dulces y salobres, lóticas. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 7.7, Co: 394.6, Tu: 291.7. Entre sedimentos, rocas y vegetación.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Por su abundancia y densidad esta especie amenaza seriamente a las especies autóctonas. CATEGORÍA UICN: No evaluada (Ne).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2007, 2009, 2012, 2013; Welter- Schultes, 2012; AnimalBase; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Huertas.

Bulinus truncatus (Audouin, 1827) [LÁMINA 07-4.C]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Bulinidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Blancuzca, opaca o algo transparente, espiralizada con ápice romo, 3- 4 vueltas de espira, la última de las cuales ocupa casi las ¾ partes de la concha, 9.0-13.0 x 6.0-8.0 mm, apertura levógira continua, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Europa, Asia y África. En Huelva en la cuenca del Piedras. Autóctona. COBERTURA: 2.7%.
HÁBITAT | Aguas ligeramente salobres. Sobre sedimento y entre vegetación.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Déficit hídrico natural y de origen antrópico por la agricultura. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2007, 2013; Welter-Schultes, 2012; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Ancylus fluviatilis O.F. Müller, 1774 [LÁMINA 07-4.D]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Planorbidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Parda oscura o blancuzca, con escultura reticulada, pateliforme ovalada y con ápice inclinado, 3.5-8.0 x 2.0-3.5 mm, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Europa y Asia. En Huelva en las cuencas del Guadiana, Piedras, Odiel, Tinto y Guadalquivir. Autóctona. COBERTURA: 71.2%.
HÁBITAT | Ubicua en aguas dulces. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 7.7, Co: 394.6, Tu: 291.7. Sobre rocas de distinto tamaño.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Son difíciles de evaluar al ser una especie muy extendida en la provincia, no obstante las alteraciones generalizadas del hábitat supondrían una amenaza común para esta y todas las especies analizadas. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2007, 2009, 2011, 2013; Welter- Schultes, 2012; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Ferrissia californica (Tryon, 1863) [LÁMINA 07-5.A]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Planorbidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Oval pateliforme, frágil y transparente, ápice amplio e inclinado hacia la derecha, 3.0-4.0 x 1.4-1.7 x 0.8-1.2 mm, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Norteamérica. En Huelva en las cuencas del Guadiana, Piedras, Odiel, Tinto y Guadalquivir. Introducida. COBERTURA: 10.8%.
HÁBITAT | Ubicua en aguas dulces. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 7.7, Co: 465.8, Tu: 346.6. Sobre rocas de distinto tamaño y entre vegetación.

AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Aunque no es una especie especialmente abundante, por su carácter invasor puede llegar a ser una seria amenaza para las especies autóctonas. CATEGORÍA UICN: Datos deficientes (Dd).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2007, 2009, 2011, 2013; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Gyraulus laevis (Alder, 1838) [LÁMINA 07-5.B]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Planorbidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Parda clara o blancuzca, espiralizada aplanada, 3-4 vueltas de espira, 1.0-2.5 x 3.0-4.5 mm.
DISTRIBUCIÓN | Europa. En Huelva en la cuenca del Guadalquivir. Autóctona. COBERTURA: 2.7%.
HÁBITAT | Aguas lóticas (riveras). Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 7.9, Co: 273.5, Tu: 233.0. Sobre rocas de distinto tamaño y entre vegetación.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Su limitada distribución la hace muy susceptible a los episodios de sequía típicamente mediterráneos o a la extracción de agua para labores agrícolas. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2007, 2011a; Welter-Schultes, 2012; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Hippeutis complanatus (Linnaeus, 1758) [LÁMINA 07-5.C]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Planorbidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Transparente y blancuzca, espiralizada aplanada, 3-4 vueltas de espira fuertemente aquilladas, 0.7-1.2 x 3.0-5.0 mm.
DISTRIBUCIÓN | Norte de África y Europa. En Huelva en la cuenca del Guadiana. Autóctona. COBERTURA: 1.8%.
HÁBITAT | Aguas lóticas (riveras). Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 7.6, Co: 451.0, Tu: 413.57. Sobre rocas de distinto tamaño y entre vegetación.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Su limitada distribución la hace muy susceptible a los episodios de sequía típicamente mediterráneos o a la extracción de agua para labores agrícolas. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2007, 2009, 2011a; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Planorbarius metidjensis (Forbes, 1838) [LÁMINA 07-5.D]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Planorbidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Parda translúcida, espiralizada aplanada, 3-4 vueltas de espira estriadas, 6.0-8.0 x 15.0-18.0 mm.
DISTRIBUCIÓN | Norte de África y Península Ibérica. En Huelva común en las cuencas del Guadiana, Odiel, Tinto y Guadalquivir. Autóctona. COBERTURA: 46.8%.
HÁBITAT | Aguas lóticas y lénticas (riveras y embalses). Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 7.8, Co: 386.3, Tu: 279.4. Sobre sedimento, rocas de distinto tamaño y entre vegetación.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Su amplia distribución la hace poco susceptible a presiones de origen antrópico o ambiental. CATEGORÍA UICN: No evaluada (Ne).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero 2007, 2009, 2011a; Welter-Schultes, 2012; AnimalBase; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

*Planorbis carinatus (*O.F. Müller, 1774) [LÁMINA 07-6.A]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, SUPERORDEN: Hygrophila, FAMILIA: Planorbidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Parda clara u oscura, espiralizada aplanada, 4.5-5 vueltas de espira con una fuerte carena, 1.5-3.0 x 6.0-16.0 mm.
DISTRIBUCIÓN | Europa. En Huelva en la cuenca del Guadalquivir y pequeñas cuencas costeras. Autóctona. COBERTURA: 3.6%.
HÁBITAT | Aguas lóticas y lénticas (riveras, pozas). Sobre sedimento y entre vegetación.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Reside en entornos fuertemente antropizados con elevada presión agrícola y en las inmediaciones del Parque Nacional de Doñana, con elevadol déficit hídrico. CATEGORÍA UICN: No evaluada (Ne).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero; Welter-Schultes, 2012; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Leucophytia bidentata (Montagu, 1808) [LÁMINA 07-6.B]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, ORDEN: Ellobiida, FAMILIA: Ellobiidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Blanca o parda clara, espiralizada y apuntada, 6-7 vueltas de espira (la última ocupa el 75% de la concha), abertura con un pliegue parietal y otro columelar 5.0-7.0 x 2.0-4.0 mm, sin ombligo.
DISTRIBUCIÓN | Costas atlánticas de Europa. En Huelva en las cuencas del Guadiana y Piedras. Autóctona. COBERTURA: 3.6%.
HÁBITAT | Sedimentos de la zona supralitoral y marismas mareales. A menudo fuera del agua.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Presión antrópica por vertidos y turismo. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero; Welter-Schultes, 2012; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | Wikimedia Commons Atribution-Share 4.0 International.

Myosotella myosotis (Draparnaud, 1801) [LÁMINA 07-6.C]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Gastropoda, ORDEN: Ellobiida, FAMILIA: Ellobiidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Parda clara u oscura, espiralizada y apuntada, 7.0-8.0 vueltas de espira, abertura con uno-dos pliegues parietales y otro columelar 5.0-10.0 x 2.5-3.5 mm, ombligo cubierto.
DISTRIBUCIÓN | Europa. En Huelva en las cuencas del Guadiana y Piedras. Autóctona. COBERTURA: 2.7%.
HÁBITAT | Zona supralitoral, pequeños arroyos costeros y marismas mareales.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Presión antrópica por vertidos y turismo. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero, 2013; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Anodonta anatina (Linnaeus, 1758) [LÁMINA 07-6.D]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Bivalvia, ORDEN: Unionida, FAMILIA: Unionidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Elongada, ocre claro a pardo oscuro, con “ala dorsal” en el margen posterior, sin dientes en la charnela, 75.0-120.0 x 45.0-60.0 x 25.0-35.0 mm.
DISTRIBUCIÓN | Europa y Asia. En Huelva en las cuencas del Guadiana y Odiel. Autóctona. COBERTURA: 2.7%.
HÁBITAT | Enterrada entre sedimentos en riveras. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 7.9, Co: 407.7, Tu: 277.2.

AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Sequía estacional, presión antrópica por vertidos y extracción de aguas para la agricultura. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Araujo *et al.*, 2009; Pérez-Quintero, 2009; Welter- Schultes, 2012; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Sinanodonta woodiana (Lea, 1834) [LÁMINA 07-7.A]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Bivalvia, ORDEN: Unionida, FAMILIA: Unionidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Ocre claro u oscuro, con "ala dorsal" en el margen posterior, 100.0 - 170.0 x 120.0-200.0 x 30.0 x 45.0 mm.
DISTRIBUCIÓN | Este de Asia. En Huelva en la cuenca del Tinto. Introducida. COBERTURA: 0.9%.
HÁBITAT | Enterrada entre sedimentos.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Esta especie invasora compite con los Uniónidos autóctonos por el alimento y el espacio.
BIBLIOGRAFÍA | Welter-Schultes, 2012
FOTO | Creative Commons CCO 1.0 Universal Public Domain Dedication.

Potomida littoralis (Cuvier, 1798) [LÁMINA 07-7.B]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Bivalvia, ORDEN: Unionida, FAMILIA: Unionidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Elongada y muy sólida, pardo oscuro, cuando el animal está muerto a menudo el perióstraco está muy erosionado, dejando visibles superficies blancas, 40.0-50.0 x 50.0-70.0 x 25.0-30.0 mm.
DISTRIBUCIÓN | Europa y norte de África. En Huelva en la cuenca del Guadiana. Autóctona. COBERTURA: 0.9%,
HÁBITAT | Enterrada entre sedimentos en riveras.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Sequía estacional, presión antrópica por vertidos y extracción de aguas para la agricultura. CATEGORÍA UICN: En peligro (En).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Araujo *et al.*, 2009; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | Creative Commons CCO 1.0 Universal Public Domain Dedication.

*Unio delphinus (*Spengler, 1793) [LÁMINA 07-7.C]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Bivalvia, ORDEN: Unionida, FAMILIA: Unionidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Ocre, elongada en su parte posterior y redondeada en la anterior, longitud máxima 100 mm.
DISTRIBUCIÓN | Europa y norte de África. En Huelva en las cuencas del Guadiana y Odiel. Autóctona. COBERTURA: 6.3%.
HÁBITAT | Enterrada entre sedimentos en riveras. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 8.1, Co: 401.0, Tu: 263.6.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Sequía estacional, presión antrópica por vertidos y extracción de aguas para la agricultura. CATEGORÍA UICN: Casi amenazada (Nt).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Araujo *et al.*, 2009; Pérez-Quintero, 2009; Welter- Schultes, 2012; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Unio tumidiformis (Da Silva e Castro, 1885) [LÁMINA 07-7.D]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Bivalvia, ORDEN: Unionida, FAMILIA: Unionidae.

DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Ocre, elongada, alargada y alta en su parte posterior y redondeada y corta en la anterior, longitud máxima 60 mm.
DISTRIBUCIÓN | Península Ibérica. En Huelva en la cuenca del Guadiana. COBERTURA: 0.9%.
HÁBITAT | Enterrada entre sedimentos.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Sequía estacional, presión antrópica por vertidos y extracción de aguas para la agricultura. CATEGORÍA UICN: Casi amenazada (Nt).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero, 2007, 2011a; Araujo *et al.*, 2009; Welter-Schultes, 2012; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Corbicula fluminea (O.F. Müller, 1774) [LÁMINA 07-8.A]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Bivalvia, ORDEN: Venerida, FAMILIA: Cyrenidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Espesa, ocre y pardo-verdoso, triangular, costillas concéntricas prominentes, 40-50 mm de longitud.
DISTRIBUCIÓN | Asia, Norteamérica y Europa. En Huelva en las cuencas del Guadiana, Piedras y pequeñas cuencas costeras. Introducida. COBERTURA: 7.2%.
HÁBITAT | Enterrada entre sedimentos en riveras, alcanzando grandes densidades.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Esta especie es una de las principales amenazas para las especies autóctonas. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero, 1990, 2007, 2011a; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

Musculium lacustre (O.F. Müller, 1774) [LÁMINA 07-8.B]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Bivalvia, SUPERORDEN: Imparidentia, FAMILIA: Sphaeriidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Ovalada, blancuzca casi transparente y muy fina, el extremo posterior es ancho y truncado, umbo un poco desplazado al extremo anterior, hasta 12 mm de longitud.
DISTRIBUCIÓN | Holártica. En Huelva en pequeñas cuencas costeras. Autóctona. COBERTURA: 1.8%.
HÁBITAT | Enterrada entre sedimentos. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 8.2, Co: 300.0, Tu: 220.0.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Extracción de aguas para el cultivo de fresas. CATEGORÍA UICN: Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero, 2004, 2009; AnimalBase; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | Creative Commons 1.0 Universal Public Domain Dedication.

Pisidium casertanum (Poli, 1791) [LÁMINA 07-8.C] y *Pisidium personatum* (Malm, 1855) [LÁMINA 07-8.D]

CLASIFICACIÓN | CLASE: Bivalvia, SUPERORDEN: Imparidentia, FAMILIA: Sphaeriidae.
DESCRIPCIÓN DE LA CONCHA | Ovalada, blancuzca-parda clara, 3.0-4.0 x 4.0-5.0 mm.
DISTRIBUCIÓN | Holártica, Suramérica, África, Asia y Australia. En Huelva en las cuencas del Guadalquivir y Odiel. Autóctona. COBERTURA: 7.2%.
HÁBITAT | En riveras y fuentes, enterrada entre sedimentos. Características físico-químicas del entorno (valores medios): pH: 8.0, Co: 303.6, Tu: 222.3.
AMENAZAS EN LA PROVINCIA | Sequía en riveras y fuentes. CATEGORÍA UICN. Preocupación menor (Lc).
BIBLIOGRAFÍA | Pérez-Quintero *et al.*, 2004; Pérez-Quintero, 2009,2011a, 2012; Fauna Europaea; IUCN Red List; MolluscaBase.
FOTO | F. Borrego y J.M. Mora.

[2]
Bibliografía

Álvarez, S.; Rico, E.; Guerrero, M.C.; Montes, C. (2001). *Decomposition of Juncus maritimus in two shallows lakes of Doñana National Park*. International Review of Hydrobiology, 86: 541-554.

Andalucía, Tomo II. Conserjería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla: 532- 535.

Animal Base. Accesible en: http://www.animalbase.org/ Consultada en Octubre de 2018.

Araujo, R. (2008a). *Potomida littoralis* (Cuvier, 1798). En: Libro Rojo de los Invertebrados de

Araujo, R. (2008b). *Unio* cf. *pictorum* (Linnaeus, 1758). En: *Libro Rojo de los Invertebrados de Andalucía, Tomo II*. Conserjería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla: 536- 539.

Araujo, R. (2008c). *Unio tumidiformis* da Silva e Castro, 1885. En: *Libro Rojo de los Invertebrados de Andalucía, Tomo II.* Conserjería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla: 540-544.

Araujo, R. (2011). *Potomida littoralis* (Cuvier, 1798). En: *Atlas y Libro Rojo de los invertebrados amenazados de España (especies vulnerables).* Volumen II: Moluscos. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino: 1036-1051.

Araujo, R; Reis, J.; Machordom, A.; Toledo, C.; Madeira, M.J.; Gómez, I.; Velasco, J.C.; Morales, J.; Barea, J.M.; Ondina, P.; Ayala, I. (2009). *Las náyades de la península Ibérica*. Iberus, 27: 7-72.

Arconada, B.; Ramos, M.A. (2007a). *Description of a new species of the genus Arganiella Giusti & Pezzoli, 1980 (Mollusca, Gastropoda, Hydrobiidae) from the Iberian Peninsula*. Graellsia, 63: 61-70.

Arconada, B.; Ramos, M.A. (2007b). *Arganiella wolfi*, new conbination for *Boetersiella wolfi* (Boeters y Glöer, 2007). Graellsia, 63: 367-369.

Arconada, B.; Delicado, D.; Ramos, M.A. (2007). *A new genus and two new species of Hydrobiidae (Mollusca: Caenogastropoda) from the Iberian Peninsula*. Journal of natural History, 41: 2007-2035.

Arconada, B.; Ramos, M.A.; Moreno, D. (2008). *Arganiella wolfi* (Boeters y Glöer, 2007). En: Libro Rojo de los Invertebrados de Andalucía, Tomo II. Conserjería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla: 490-494.

Arconada, B.; Ramos, M.A.; Delicado, D.; Moreno, D. (2008b). *Iberhoratia morenoi* Arconada, Delicado y Ramos, 2007. En: Libro Rojo de los Invertebrados de Andalucía, Tomo II. Conserjería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla: 508-511.

Bech, M. (1990). *Fauna malacològica de Catalunya*. Mol.luscs terrestres I d´aigua dolça. ICHN.

Bigot, L.; Marazanof, F. (1965). *Considérations sur l´ecologie des invertébrés terrestres et aquatiques des marismas du Guadalquivir (Andalucia).* Vie et Milieu, serie C, 16: 441- 473.

Boeters, H.D.; Glöer, P. (2007). *A contribution to the genus Boetersiella Arconada & Ramos 2001 in Spain with the description of Boetersiella wolfi n. sp*. Heldia, 5: 85-88.

Cadevall, J.; Orozco, A. (2016). *Caracoles y babosas de la Península Ibérica*. Ediciones Omega. Madrid.

Fauna Europaea. Accesible en: https://fauna-eu.org/ Consultada en Octubre de 2018.

Gasull, L. (1985). *Fauna malacológica continental de la provincia de Huelva.* Miscelánea Zoológica, 9: 127-143.

Glaubrecht, M. (1996). *Evolutionsökologie und Systematik am Beispiel von Süβ- und Brackwasserschnecken (Mollusca: Caenogastropoda: Cerithioidea): Ontogenese- Strategien, Palaöntologische Befunde und Historisch Zoogeographie*. Backhuys Publishers, Leiden.

Glöer, P.; Boeters, H.D.; Walther, F. (2015). *Species of the genus Mercuria Boeters, 1971 (Caenogastropoda: Truncatelloidea: Hydrobiidae) fron the European Mediterranean region, Morocco and Madeira, with description of new spec*ies. Folia Malacologica, 23: 279-291.

- IUCN Red List. Accesible en: https://www.iucnredlist.org/ Consultada en Octubre de 2018.
- Lawrence, E. (ed) (2003). *Diccionario Akal de términos biológicos*. Ediciones Akal. Madrid.
- Lincoln, R.; Boxshall, G.; Clark, P. (1998). *A dictionary of ecology, evolution and systematics*. University Press. Cambridge.
- López-Soriano, J.; Quiñonero-Salgado, S.; Cadevall (2017). *Presència del bivalve invasor Sinanodonta woodiana (Lea, 1834) al delta del Llobretat (Baix Llobregat).* Arxius de Miscel.lània Zoològica, 15: 1-7.
- Marazanof, F. (1966). *Mollusques aquatiques des Marismas du Guadalquivir: données* écologiques *et biogéographiques.* Annales de Limnologie, 3: 477-489.
- Martín, J.F.; Quiñonero, S.; López, J. (2016). *Primeras citas de Pseudosuccinea columella (Say, 1817) (Gastropoda: Lymnaeidae) para Andalucía*. Spira, 6: 87-88.
- Martínez-Ortí, A. (2008). *Melanopsis* spp. En: *Libro Rojo de los Invertebrados de Andalucía*, Tomo II. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla: 485-489.
- MolluscaBase. Accesible en: https://www.molluscabase.org Consultada en Octubre de 2018.
- Muñiz, R. (2002). *Diccionario etimológico de Malacología*. Sociedad Española de Malacología, Reseña Malacológica XII.
- Ortiz de Zárate, A.; Ortiz de Zárate, A. (1961). *Moluscos terrestres recogidos en la provincia de Huelva*. Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (B), 59: 169-190.
- Pérez-Quintero, J.C. (1988). *Faunística, distribución y biometría de los moluscos dulceacuícolas de la provincia de Huelva.* Iberus, 8: 203-209.
- Pérez-Quintero, J.C. (1990). *Primeros datos sobre la presencia de Corbicula fluminea en España, I. Biometría*. Scientia Gerundensis, 16: 175-182.
- Pérez-Quintero, J.C. (2007). *Diversity, habitat use and conservation of freshwater molluscs in the lower Guadiana River basin (SW Iberian Peninsula*). Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 17: 485-501.
- Pérez-Quintero, J.C. (2009). *Moluscos dulceacuícolas de la Reserva de la Biosfera "Dehesas de Sierra Morena", SO de la Península Ibérica*. Iberus, 27: 1-18.
- Pérez-Quintero, J.C. (2011a). *Distribution patterns of freshwater molluscs along environmental gradients in the southern Guadiana River basin (SW Iberian Peninsula).* Hydrobiologia, 678: 65-76.
- Pérez-Quintero, J.C. (2011b). *Freshwater mollusc biodiversity and conservation in two stressed Mediterranean basin*s. Limnologica, 41: 201-212.
- Pérez-Quintero, J.C. (2012). *Environmental determinants of freshwater molluscs' biodiversity and identification of priority areas for conservation in Mediterranean water courses.* Biodiversity and Conservation, 21: 3001-3016.
- Pérez-Quintero, J.C. (2013). *Mollusc communities along upstream-downstream gradients in small coastal basins of the South-Western Iberian Peninsul*a. Hydrobiologia, 703: 165- 175.
- Pérez-Quintero, J.C.; Bech, M.; Huertas, J.L. (2004). *Los moluscos de las aguas continentales de la provincia de Huelva (SO España).* Iberus, 22: 19-31.
- Pou-Rovira, Q.; Araújo, R.; Bix, D.; Clavero, M.; Feo, C.; Ordeix, M.; Zamora, L. (2009). *Presence of the alien chinese pond mussel Anodonta woodiana (Lea, 1834) (Bivalvia, Unionidae) in the Iberian Peninsula*. Graellsia, 65: 67-70.
- Quiñonero-Salgado, S.; Martín, J.F.; López, J.; Rolán, E. (2018). *A new species of the genus Guadiella Boeters, 2003 (Gastropoda, Hydrobiidae) from SW Spain*. Iberus, 36: 61-65.
- Ruiz, A.; Cárcaba, A.; Porras, A.I.; Arrébola, J.R. (2006). *Caracoles terrestres de Andalucía.* Fundación Gypaetus-Consejería de Medio Ambiente.
- Werter-Schultes, F. (2012). *European non-marine mollusks, a guide for species identification.* Planet Poster Editions.

LÁMINA
07-1

A: *Melanopsis praemorsa*
B: *Bithynia tentaculata*
C: *Arganiella wolfi*
D: *Guadiella pilelongata*

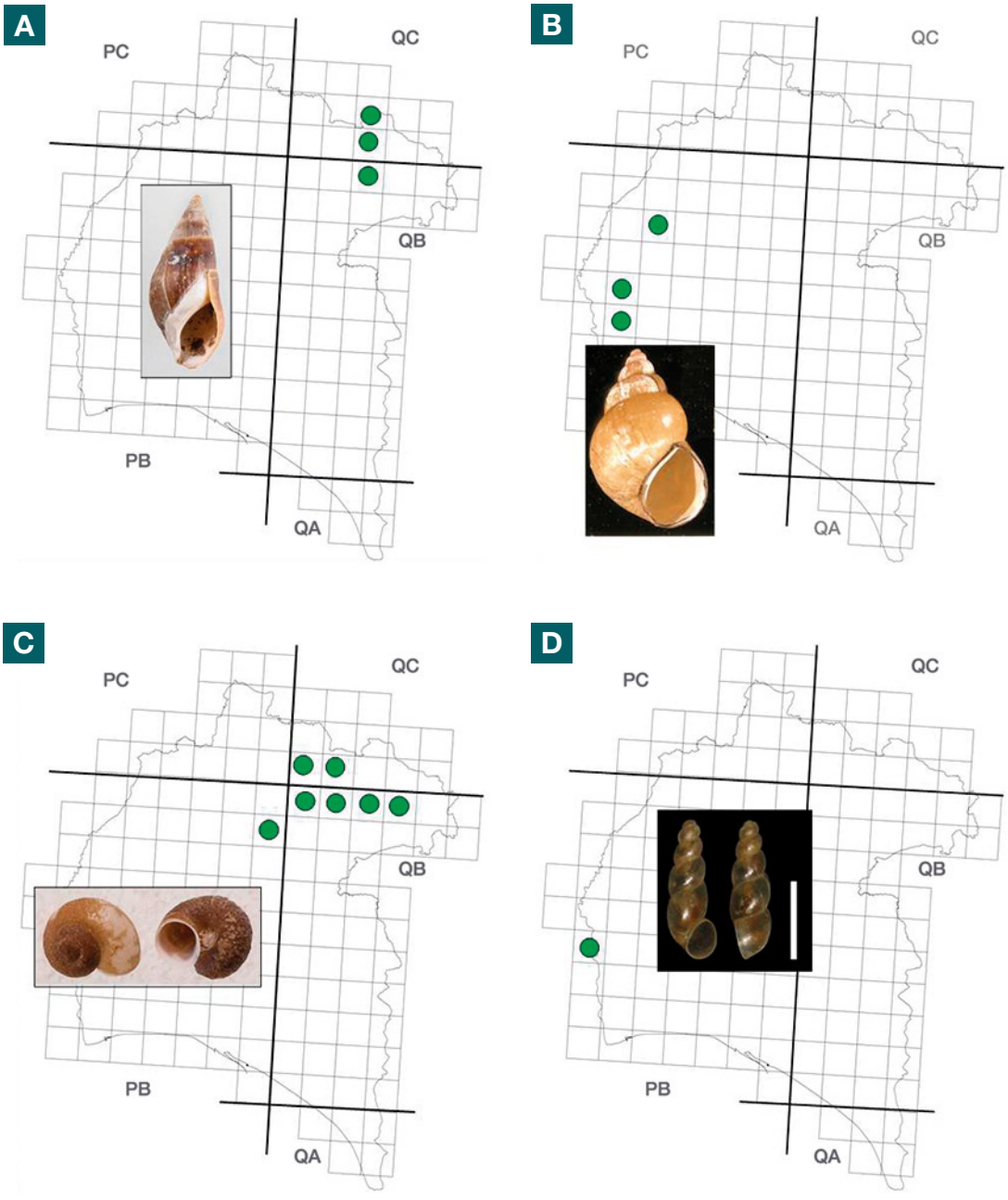


LÁMINA
07-2

A: *Iberhoratia morenoi*
B: *Mercuria*
C: *Peringia ulvae*
D: *Potamopyrgus antipodarum*

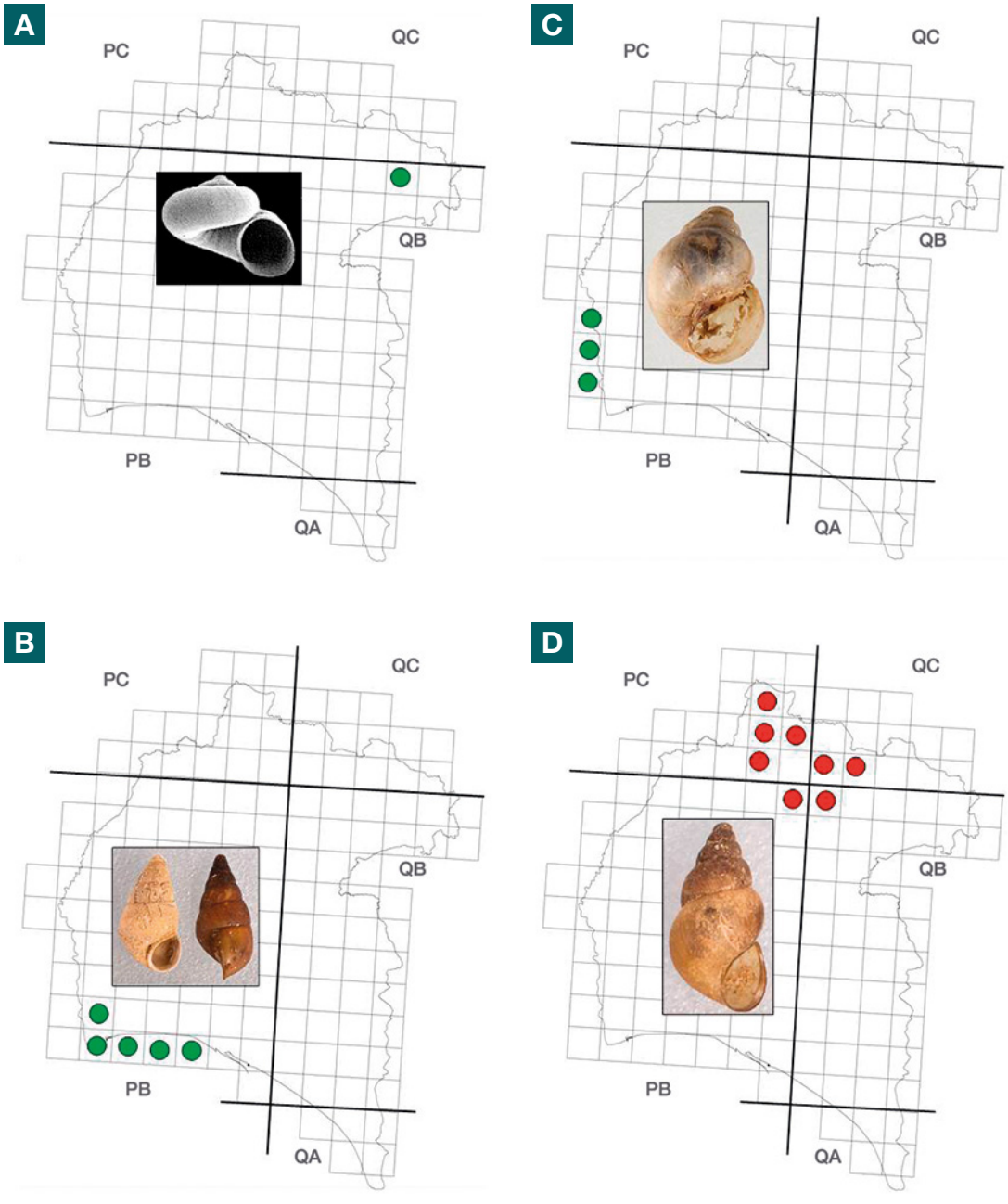


LÁMINA
07-3

A: *Galba truncatula*
B: *Peregriana labiata*
C: *Pseudosuccinea columella*
D: *Radix auricularia*

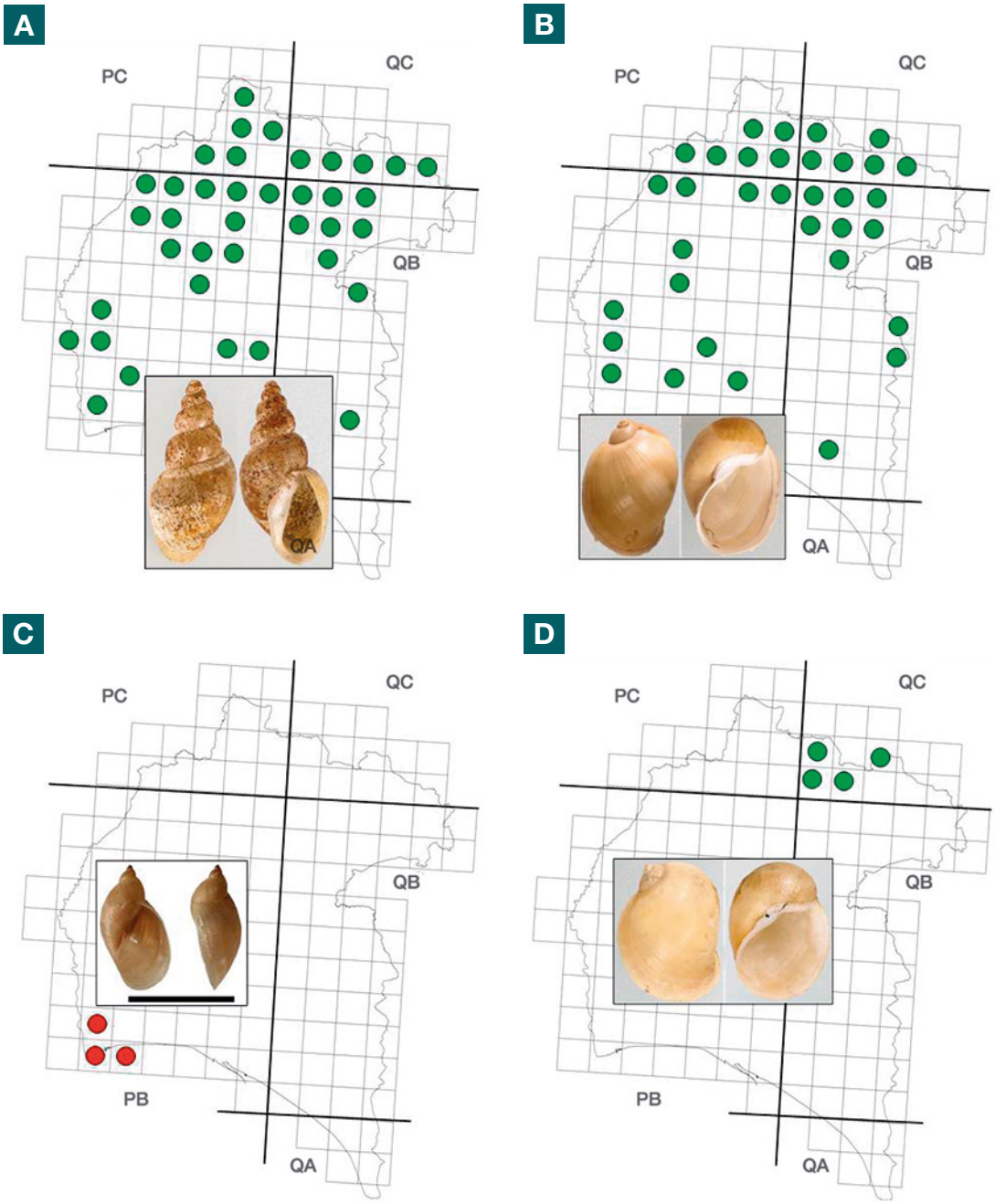
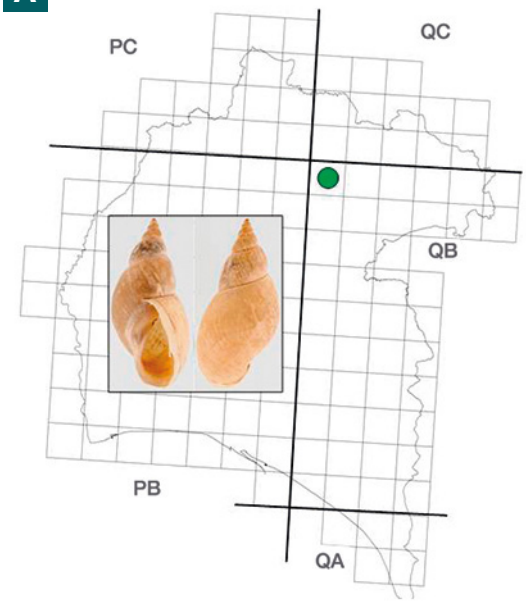


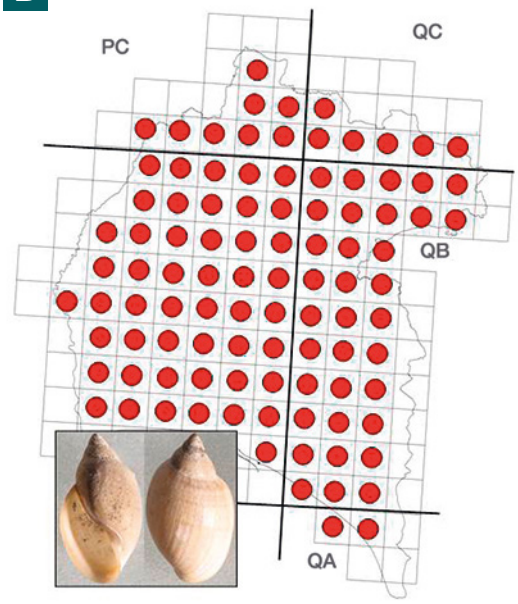
LÁMINA
07-4

A: *Stagnicola palustris*
B: *Physella acuta*
C: *Bulinus truncatus*
D: *Ancylus fluviatilis*

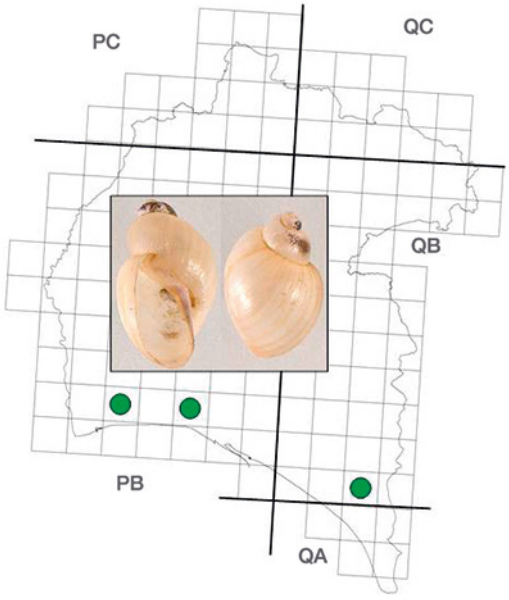
A



B



C



D

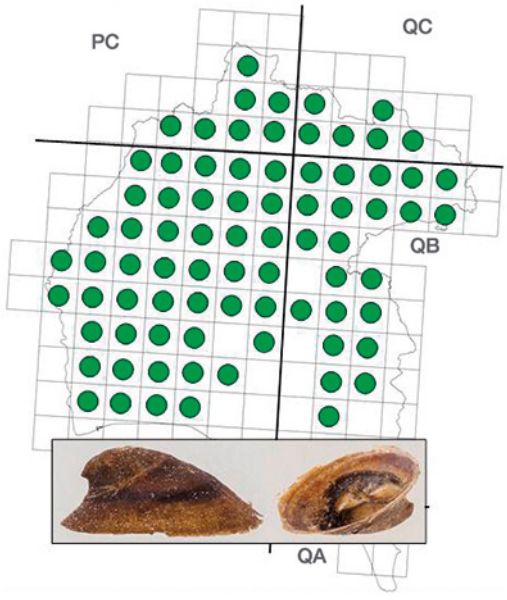
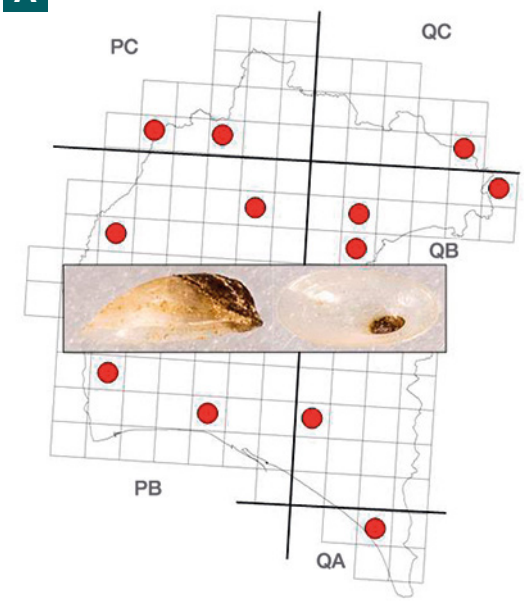


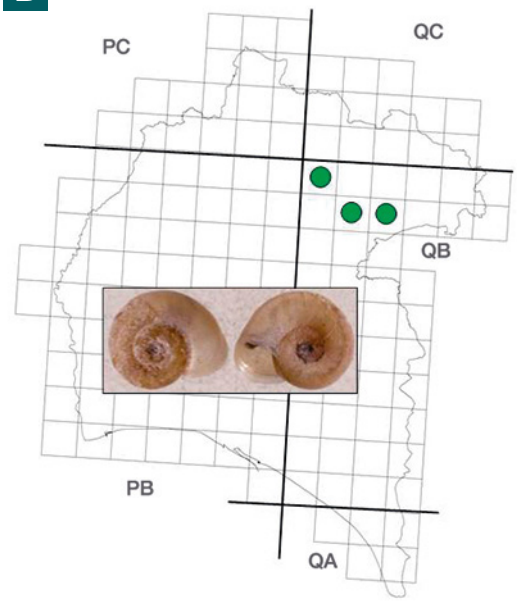
LÁMINA
07-5

A: *Ferrissia californica*
B: *Gyraulus laevis*
C: *Hippeutis complanatus*
D: *Planorbarius metidjensis*

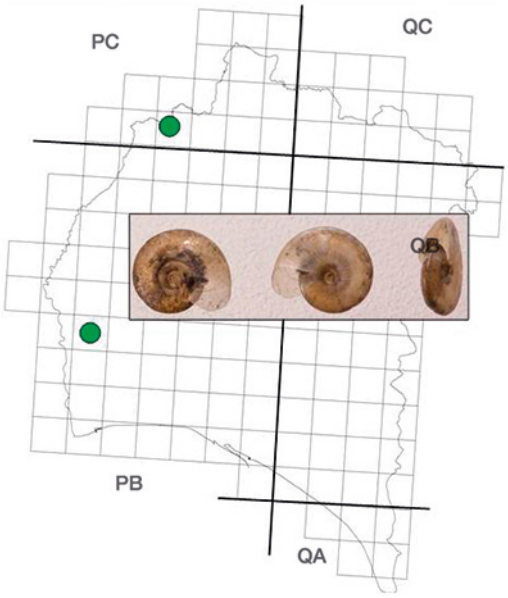
A



B



C



D

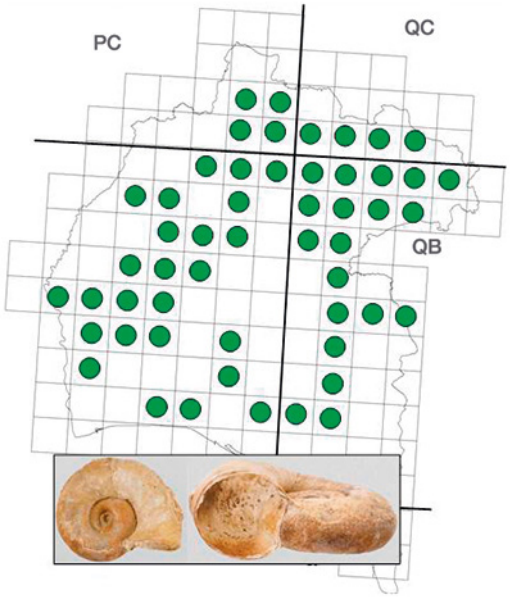
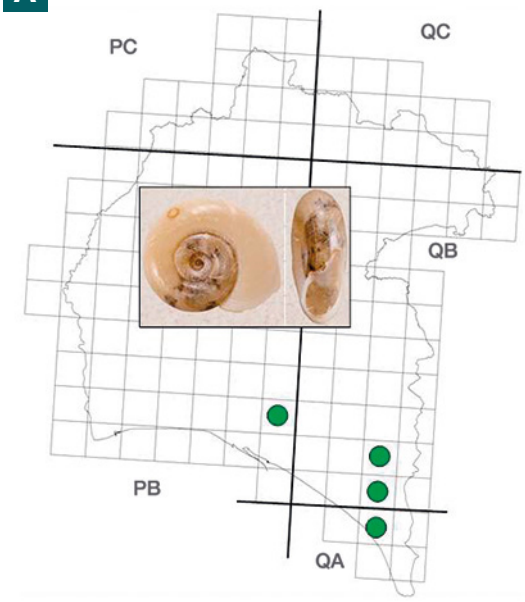


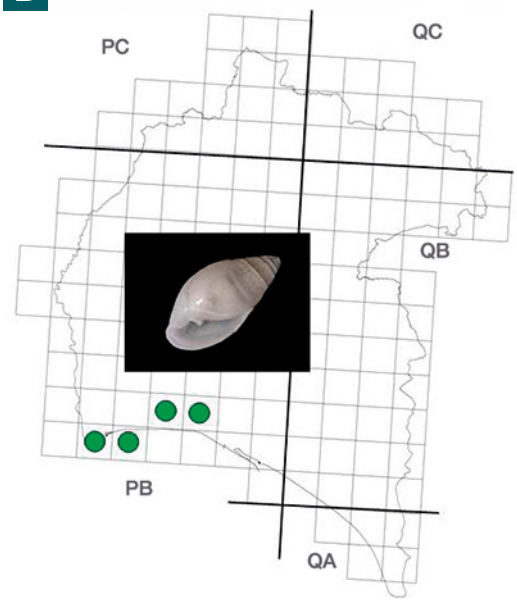
LÁMINA
07-6

A: *Planorbis carinatus*
B: *Auriculinella bidentata*
C: *Myosotella myosotis*
D: *Anodonta anatina*

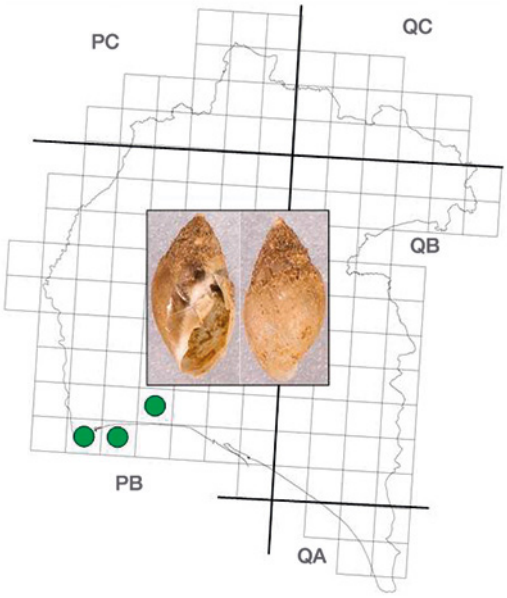
A



B



C



D

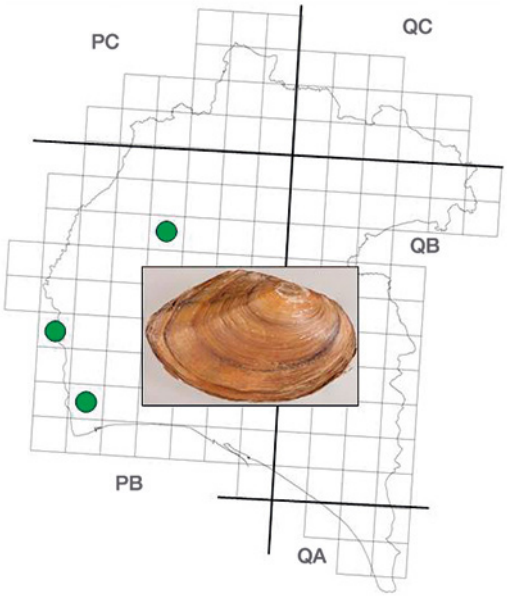
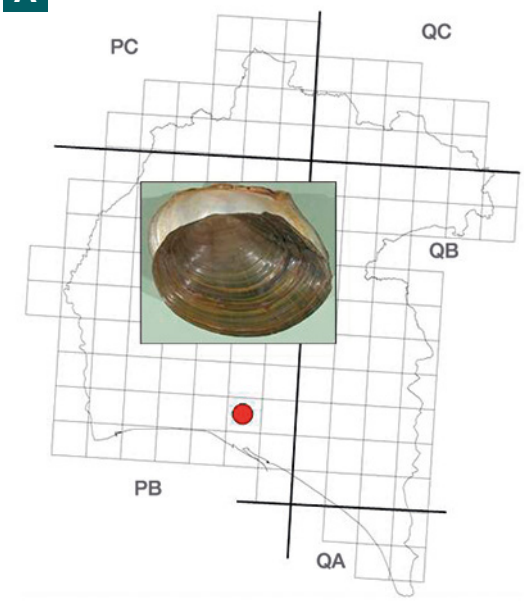


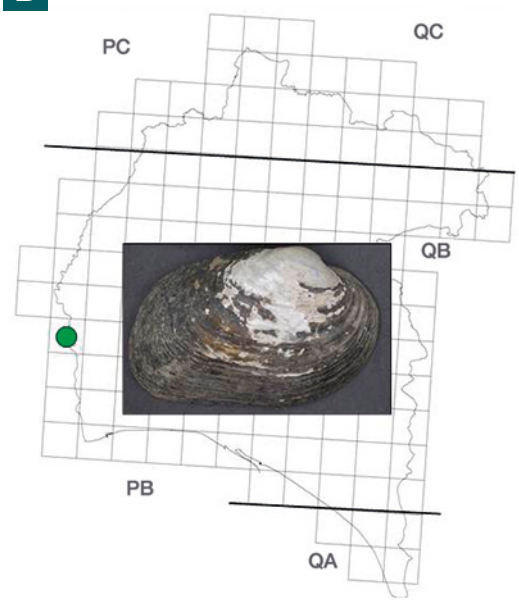
LÁMINA
07-7

A: *Sinanodonta woodiana*
B: *Potomida littoralis*
C: *Unio delphinus*
D: *Unio tumidiformis*

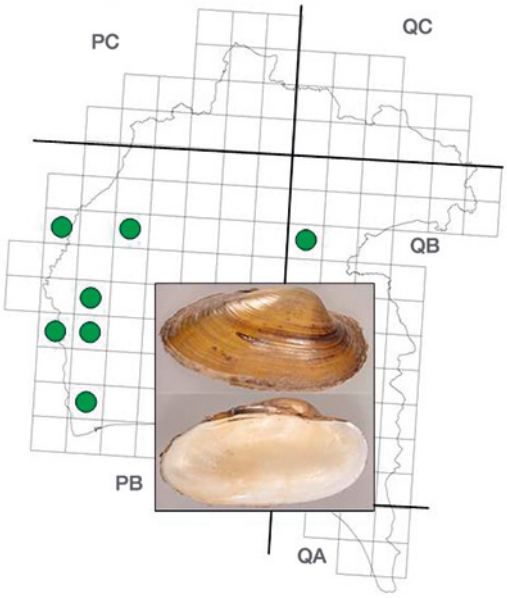
A



B



C



D

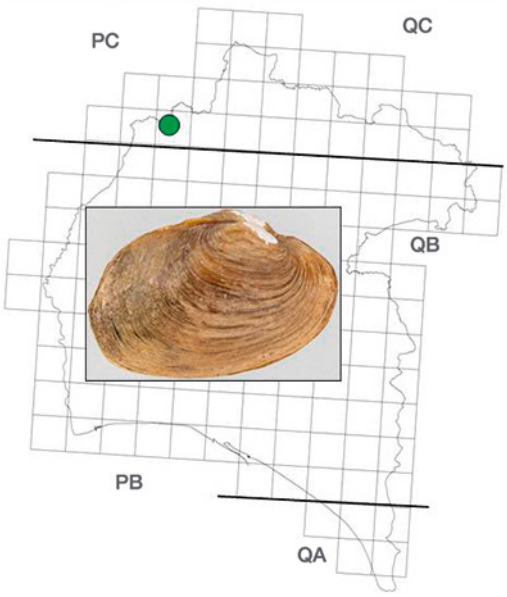
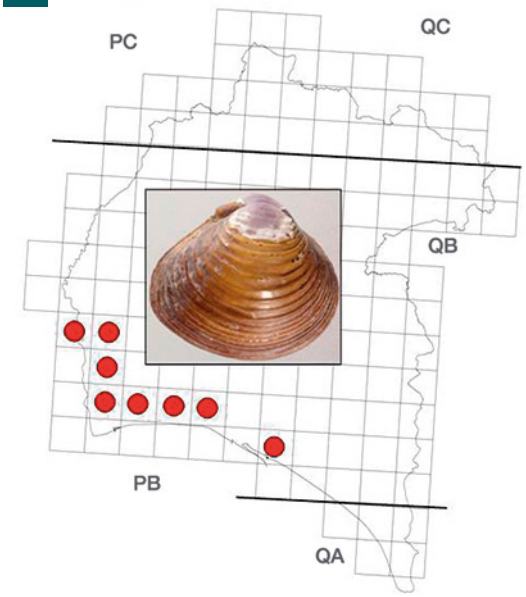


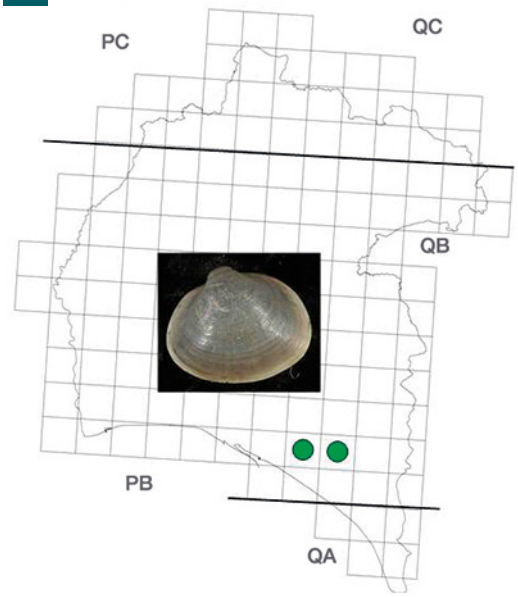
LÁMINA
07-8

A: *Corbicula fluminea*
B: *Musculium lacustre*
C: *Pisidium casertanum* y *Pisidium personatum*

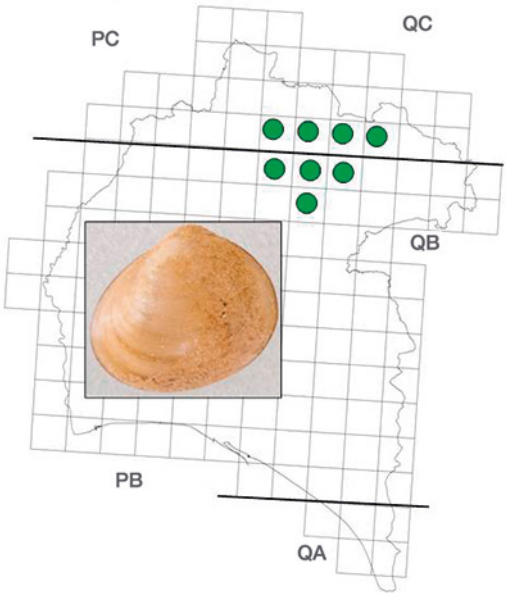
A



B



C





08

Anfibios y reptiles de la provincia de Huelva

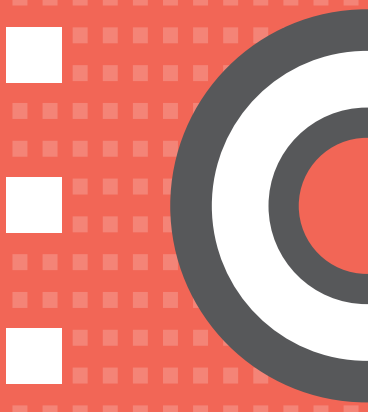
Juan Pablo González de la Vega || Juan Carlos Pérez Quintero *

Área de Zoología. Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales. Centro de Investigación RENSMA. Campus de Excelencia CeiMar. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España.

* Corresponding author | Dr. Juan Carlos Pérez Quintero || jcperez@uhu.es || latasti@hotmail.com

Tel.: +34 959 21 98 89 || Fax: +34 959 21 94 67

Web: http://anfibios-reptiles-andalucia.org || Anfibios y Reptiles de Andalucía



Anfibios y reptiles de la provincia de Huelva

Juan Pablo González de la Vega || Juan Carlos Pérez-Quintero

PALABRAS CLAVE
Huelva, anfibios, reptiles, herpetofauna, distribución, conservación.



[1]
Introducción

Se presenta las especies de anfibios y de reptiles de la provincia de Huelva estudiados a lo largo de 36 años de salidas al campo para la confección del Atlas Herpetológico de la Provincia de Huelva, y paralelamente, el Atlas Herpetológico de Andalucía. Se hace una breve reseña de cada una de las especies y se aportan fotografías de las mismas.

En total son 43 las especies presentes en la geografía onubense, de ellas 13 son anfibios, 9 son quelonios, cinco de las mismas son tortugas marinas que deben ser tratadas como especies divagantes, y un galápago americano introducido pero con poblaciones estables y perfectamente aclimatada, 12 saurios, 1 anfisbénido y 8 ofidios.

GLOSARIO |

AGLIFA | tipo de dentición de las serpientes que no presentan colmillos inoculadores de veneno. En la provincia de Huelva son aglifas la culebra lisa meridional (*Coronella girondica*), culebra de herradura (*Hemorrhois hippocrepis*), culebra de escalera (*Zamenis scalaris*), culebra de collar ibérica (*Natrix astreptophora*) y culebra viperina (*Natrix maura*).

AMPLEXO | abrazo sexual de los anfibios, en especial de los anuros, llevado a cabo durante la reproducción. Puede ser axilar o inguinal.

CALLOSIDADES NUPCIALES | protuberancias engrosadas de la piel, ásperas y generalmente de color negro que aparecen en la mayoría de los anuros y algunos urodelos durante la época de la reproducción y gracias a las cuales los machos consiguen aferrarse a las hembras para reproducirse.

GLÁNDULAS PAROTOIDEAS | glándulas externas y por lo general de gran tamaño presente en los anfibios y alojadas detrás de los ojos. A través de ellas segregan sustancias venenosas portadoras de toxinas de las que se valen para defenderse de sus depredadores.

INTRODUCIDA | especie no nativa de la localidad donde reside.

OPISTOGLIFA | tipo de dentición de las serpientes cuyos colmillos están alojados en la parte posterior de la mandíbula superior. En la provincia de Huelva son opistoglifas la culebra de cogulla (*Macroprotodon brevis*) y la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*).

SOLENOGLIFA | tipo de dentición de las serpientes cuyos colmillos están alojados en la parte anterior de la mandíbula superior, son móviles y poseen un conducto interno a través del cual fluye el veneno en el momento de la mordedura. En la provincia de Huelva es solenoglifa la víbora hocicuda (*Vipera latastei*).

CLASE *AMPHIBIA* (ANFIBIOS)

ORDEN *URODELA* (URODELOS) | ANFIBIOS CON COLA

FAMILIA | ***Salamandridae*** (salamandras y tritones)

Lissotriton boscai (Lataste, 1879) - Tritón ibérico

Pequeño tritón de cola aplanada lateralmente y por lo general de menor tamaño que el resto del cuerpo. Talla máxima 90 mm de longitud total. Durante el celo ambos sexos desarrollan cloacas prominentes (especialmente los machos), a la vez que adoptan colores más vistosos. Fuera de ella son de color pardo-oscuro, con una tenue línea vertebral de color naranja o amarillento. Piel rugosa y áspera al tacto, color de fondo pardo-oscuro, pardo grisáceo y a veces muy oscuros. La cabeza es más larga que ancha y de hocico redondeado, los ojos, que son relativamente grandes, están atravesados por una línea negra, la pupila es circular y de color negro y el iris es dorado. Tras los ojos, presenta un par de glándulas parotoideas bien patentes. El vientre es siempre de color naranja o amarillo, poco o muy moteado de negro. Entran en celo en el mes de noviembre. Reproducción ovípara (entre 32 y 204 huevos). Terminan la metamorfosis a los tres meses con una talla de entre 25 y 36 mm de longitud total.

Durante la fase acuática se le puede ver en el agua de pozas, pozos, charcas temporales, estanques, manantiales, abrevaderos, y en general en cualquier curso de agua. Fuera de la época de celo se refugia bajo troncos, rocas, grietas profundas del terreno, etc. Especie solitaria, de costumbres crepusculares y nocturnas, se alimenta de insectos, larvas acuáticas de insectos, crustáceos, arácnidos, etc. Presente en toda la provincia, común y relativamente abundante durante la época de celo; fuera de ella resulta extremadamente difícil de localizar.

Pleurodeles waltl (Michahelles, 1830) – Gallipato

Tritón de cola aplanada lateralmente y de igual o menor longitud que el resto del cuerpo. Raros son los ejemplares que alcanzan los 300 mm de longitud total. Tallas normales entre 150 y 230 mm. La cabeza es tan ancha como larga, sin glándulas parotoideas, muy aplanada y de morro redondeado. Los ojos son pequeños, de pupila circular y de color negro y el iris es cobrizo o amarillento. La piel es rugosa y poblada de pequeñas verrugas que a menudo están coloreadas por puntos negros. Color de fondo muy variable, en general con tonos grisáceos, verde-amarillentos, pardos o más raramente negros, poco o muy moteado de negro o de pardo. Destacan a ambos lados del dorso una hilera de tubérculos muy a menudo coloreados de naranja o de amarillo y en número de 8 a 11, a través de los cuales pueden hacer aflorar las costillas en caso de peligro. Durante el celo, los machos presentan una cresta caudal y desarrollan unas durezas en forma de almohadilla alargada y de color negro en la parte interior del antebrazo, en el brazo y más raramente en la palma de la mano, gracias a las cuales se aferra a las hembras durante la reproducción. Entran en celo con las primeras lluvias de septiembre u octubre. Reproducción ovípara (entre 328 y 1.303 huevos). Las larvas terminan la metamorfosis a los cuatro meses con una talla de entre 53 y 110 mm de longitud total.

Especie de costumbres muy acuáticas, pudiendo pasar la mayor parte de su vida en dicho medio, del cual sale de noche o durante los días lluviosos. Cuando se le molesta aplana la cabeza y el cuer-

po, a la vez que puede extraer a modo de defensa las costillas. Tanto los adultos como las larvas se alimentan de larvas y ninfas acuáticas de insectos y todo pequeño animal que caiga al agua, carroña, larvas de otros anfibios, crustáceos, anélidos, etc., siendo muy común el canibalismo. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante.

Salamandra salamandra (Linnaeus, 1758) - Salamandra común

Tritón de cuerpo robusto, extremidades cortas y gruesas, y cola cilíndrica que siempre es de menor tamaño que el resto del cuerpo. La piel es lisa, brillante, y de color negro, salpicada por manchas de diferente tamaño y coloreadas de rojo y amarillo, principalmente sobre los ojos, glándulas parotoideas y nacimiento de las extremidades. La cabeza está bien diferenciada del cuerpo, glándulas parotoideas bien patentes y de forma arriñonada. Raros son los ejemplares que alcanzan los 250 mm de longitud total, lo normal es que no sobrepasen los 200 mm. Los ojos son grandes, de pupila circular y de color negro y el iris de color marrón oscuro. A ambos lados del cuerpo destacan sendos surcos de protuberancias carnosas. Los machos presentan un cuerpo más estilizado, cola más larga y la cloaca muy abultada durante la época de celo. Las hembras son las que alcanzan las tallas mayores, son más robustas y con los miembros anteriores más cortos. Entran en celo a finales de septiembre. Reproducción ovovivípara (dan a luz larvas más o menos desarrolladas), en número de entre 11 y 32. Terminan la metamorfosis a los tres meses con una talla de entre 42 y 66 mm de longitud total.

De costumbres eminentemente terrestres, acude muy raras veces al agua. Sólo deja su escondite durante el crepúsculo o en la noche de días especialmente lluviosos. Vive bajo rocas, troncos podridos o simplemente aprovecha la guarida de otros animales. Se alimenta de pequeños invertebrados, en especial de insectos y de sus larvas, miriápodos, anélidos y moluscos. Las larvas se alimentan de insectos acuáticos, crustáceos y otras larvas de anfibios. Especia común y relativamente abundante en las zonas centro y norte de la provincia, falta por completo en la zona sur. En la provincia de Huelva confluyen por distribución, tres subespecies de salamandras:

> *Salamandra salamandra crespoi*
> *Salamandra salamandra gallaica*
> *Salamandra salamandra morenica*

Triturus pygmaeus (Wolterstorff, 1905) - Tritón pigmeo

Tritón de cola aplanada lateralmente y por lo general de menor tamaño que el resto del cuerpo. Cabeza aplanada con glándulas parotoideas bien visibles. Tallas normales entre 90 y 125 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 135 mm de longitud total. La cabeza es más larga que ancha, aplanada y de morro redondeado. Los ojos son relativamente grandes, de pupila circular y negra, mientras que el iris es dorado y manchado de negro y cobrizo. La piel es rugosa y áspera al tacto. Color de fondo verdoso y muy manchado de negro. Los machos durante el celo desarrollan una alta y recta cresta dorsal, en la que se mezclan los colores negro, verde, blanco y crema, y se extiende desde los ojos hasta el nacimiento de la cola. Fuera del celo queda reducida a una línea vertebral de color naranja en hembras y subadultos o

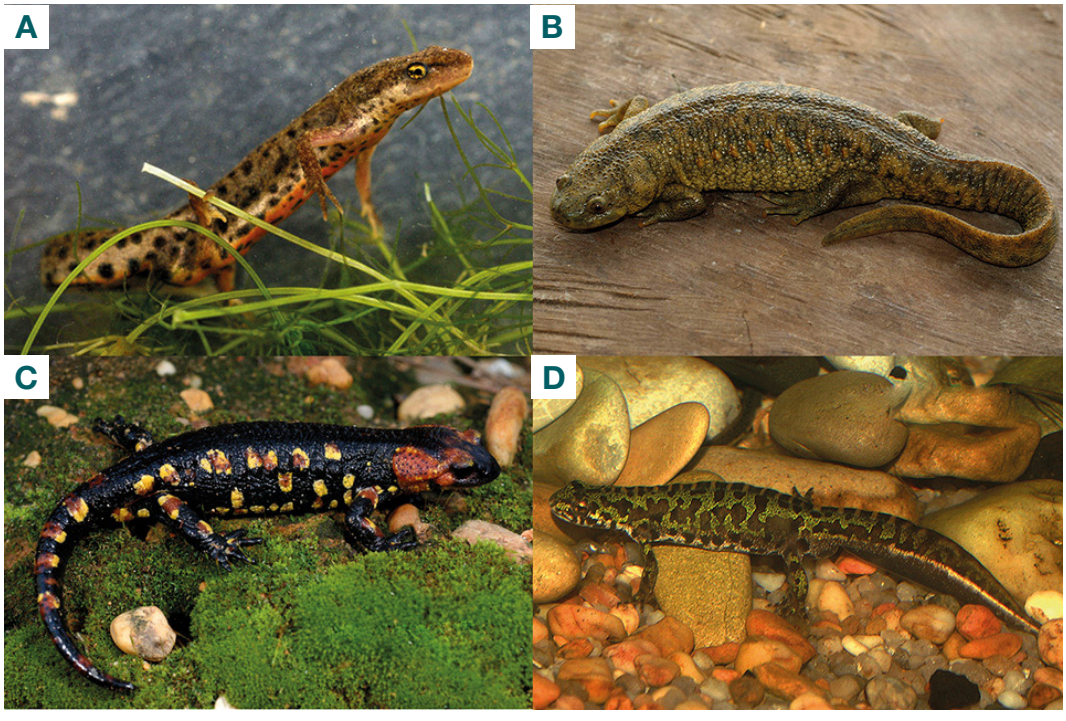
discontinua en los machos. Vientre de color grisáceo, amarillento o blanquecino, punteado o decorado de negro. Entran en celo en el mes de octubre y cesa toda actividad sexual a finales de abril. Reproducción ovípara (entre 148 y 382 huevos). Terminan la metamorfosis a los tres meses aproximadamente con una talla de entre 37 y 56 mm de longitud total.

Tiene dos fases perfectamente diferenciadas: una acuática y otra terrestre. En la primera permanece en el agua coincidiendo con la época reproductora; en la segunda, permanece en tierra, saliendo solamente de noche, en el crepúsculo o en días lluviosos. Normalmente son solitarios, congregándose gran número de ejemplares durante la época reproductora en el agua de charcas temporales o arroyos de curso lento. Los adultos se alimentan especialmente de insectos y de sus larvas y sus ninfas, anélidos, isópodos y arácnidos. Las larvas lo hacen de larvas y ninfas acuáticas de insectos, crustáceos y de puestas y larvas de anfibios. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante.

LÁMINA
08-1

ANFIBIOS URODELOS DE LA PROVINCIA DE HUELVA

A: Tritón ibérico *(Lissotriton boscai)*
B: Gallipato *(Pleurodeles waltl)*
C: Salamandra común *(Salamandra salamandra)*
D: Tritón pigmeo *(Triturus pygmaeus)*



ORDEN *ANURA* (ANUROS) | ANFIBIOS SIN COLA

FAMILIA | *Alytidae* (sapos parteros)

Alytes cisternasii (Boscá, 1879) - Sapo partero ibérico

Pequeño sapo de cuerpo rechoncho y miembros cortos pero robustos. Cabeza más larga que ancha, morro obtuso, pupila vertical y de color negro, iris dorado y moteado de negro. Tras los ojos presenta un par de glándulas parotoideas visibles pero poco patentes. Los ojos están adornados por la parte superior de pequeñas verrugas de color anaranjado. Cuerpo de color parduzco o grisáceo, con tenues manchas de color verde oliváceo y multitud de verrugas coloreadas a menudo de naranja. Tallas normales entre 32 y 38 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 40 mm de longitud. Las hembras son más robustas y con tallas mayores. El amplexo es inguinal, aunque en algunos momentos del mismo pasa a ser nucal. Los huevos evacuados por la hembra están unidos unos a otros por un finísimo cordón, gracias a lo cual el macho, una vez los ha fecundado, los enreda entre sus miembros posteriores, permaneciendo de esta manera por espacio de hasta 32 días. Pasado este tiempo, se acerca a la orilla de las zonas acuáticas y allí, tras un "pedaleo" más o menos enérgico hace eclosionar, por rotura de las envueltas, a las larvas que miden entonces entre 10 y 13 mm de longitud. Los primeros machos portando huevos se pueden observar ya en el mes de octubre. Cada hembra es capaz de evacuar hasta un total de 164 huevos y los machos pueden portar huevos de diferentes hembras a la vez. Las larvas alcanzan una talla de 59 mm y terminan la metamorfosis a los tres meses con una talla de entre 10 y 23 mm.

Costumbres terrestres y nocturnas. Vive bajo piedras o simplemente bajo tierra desde donde emite el canto en la época de celo. Se desplaza por tierra mediante pequeños saltos. Al ser descubierto adopta una postura clásica con la cabeza agachada. Al molestarlo se hincha desmesuradamente y puede emitir sonidos similares al maullido de un gato. Las larvas de alimentan tanto de materia orgánica como inorgánica, los adultos de insectos y demás pequeños invertebrados. Presente en toda la provincia. Especie relativamente común y abundante.

FAMILIA | *Discoglossidae* (sapillos pintojos)

Discoglossus galganoi (Capula, Nascetti, Lanza, Crespo & Bullini, 1985) - Sapillo pintojo ibérico

Pequeño sapo muy parecido a una rana, de cabeza aplanada y morro muy agudo. Pliegues dorsolaterales reducidos y sin glándulas parotoideas. Pupila de forma acorazonada o redonda y de color negro, mientras que el iris es dorado. La coloración y el diseño son exageradamente variables. Se pueden encontrar ejemplares de tonos verdosos, verde-amarillentos, grises, pardos o exageradamente oscuros. El diseño puede estar reducido a tres franjas dorsales de tonos claros u oscuros y relativamente simétricos. Unas veces es característica una línea vertebral de tonos más claros, y otras lo es un dibujo en forma de "V" tras los ojos. Vientre blanquecino o amarillento, normalmente sin diseño alguno. Tallas

normales entre 45 y 60 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 70 mm de longitud. Los machos son los que alcanzan las tallas mayores y durante el celo presentan callosidades nupciales en los dedos pulgares y en el tubérculo palmar más cercano a aquellos, menos a menudo en garganta y vientre.

Entran en celo en el mes de octubre. Las hembras son capaces de evacuar entre 326 y 1340 huevos, depositándolos en cunetas encharcadas, bordes de carretera, charcas temporales, etc. El crecimiento es muy rápido, las larvas llegan a medir 36 mm y terminan la metamorfosis a los dos meses con una talla de entre 6 y 15 mm. Costumbres crepusculares y nocturnas. Alimentación eminentemente insectívora, junto a moluscos, arácnidos y anélidos. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante.

FAMILIA | *Pelobatidae* (sapos de espuelas)

Pelobates cultripes (Cuvier, 1829) - Sapo de espuelas

Sapo de extremidades cortas, cuerpo robusto, piel lisa, sin glándulas parotoideas, ojos grandes de pupila vertical y color negro, iris dorado o amarillento. Presenta en la base de las extremidades posteriores una excrecencia córnea a modo de espolón negro del que se vale para excavar el terreno con gran agilidad. Color de fondo parduzco, amarillento o verdoso, a veces inusitadamente oscuros, y con gran profusión de manchas irregulares de gran tamaño y de color negro, gris, o verdoso. Tallas normales entre 55 y 65 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 85 mm de longitud. Las hembras son las que alcanzan las tallas mayores y son mucho más robustas. Los machos durante el celo presentan una glándula amarillenta y alargada a modo de almohadilla en la parte superior de los antebrazos.

Entran en celo en el mes de octubre. El amplexo es inguinal. Las hembras son capaces de evacuar entre 1.380 y 6.882 huevos. Estos son depositados en forma de cordón grueso y largo. Las larvas llegan a medir 145 mm La metamorfosis concluye entre los tres y cuatro meses con una talla de entre 19 y 41 mm. Abandonan el agua con la cola sin terminar de reabsorber. De costumbres terrestres, salen de noche cuando el tiempo es lluvioso. Pasa el día bajo tierra en galerías excavadas con ayuda de los espolones córneos típicos de la especie. Alimentación insectívora. Gusta vivir especialmente en terrenos sueltos y arenosos. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante, especialmente en la zona sur.

FAMILIA | *Pelodytidae* (sapillos moteados, ranas perejil)

Pelodytes ibericus (Sánchez-Herráiz, Barbadillo, Machordon & Sanchíz, 2000) - Sapillo moteado ibérico

Pequeño sapo muy parecido a una rana, de miembros muy delicados y de ellos los posteriores especialmente adaptados para el salto. Cabeza muy aplanada, algo más larga que ancha y morro puntiagudo. Ojos prominentes de pupila vertical y color negro, mientras que el iris es dorado y tenuemente moteado de negro. Tímpano poco visible y glándulas parotoideas casi inexistentes. Cuerpo rugoso con pequeñas verrugas de forma redondeada y a menudo coloreadas de tonos más oscuros. Color de fondo grisáceo

o verdoso, siempre muy decorado por pequeñas manchas de color verde. Vientre de color blanco o amarillento. Tallas normales entre 22 y 36 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 40 mm de longitud Las hembras son las que alcanzan las tallas mayores y son más robustas. Los machos durante el celo presentan callosidades nupciales en los primeros dedos de las extremidades anteriores, en la parte anterior del antebrazo, en el brazo y pecho. Saco vocal bien patente y de color gris oscuro.

Entran en celo en el mes de septiembre. El amplexo es inguinal. Las hembras son capaces de evacuar entre 105 y 982 huevos, depositados en forma de cordones gruesos de hasta 86 mm de longitud. Las larvas pueden llegar a medir 58 mm y terminan la metamorfosis a los tres meses con una talla de entre 10 y 21 mm Costumbres crepusculares y nocturnas. Aunque se desplaza siempre por el suelo, puede trepar perfectamente por paredes casi lisas ayudándose con el vientre a modo de ventosa. Se alimenta de toda clase de pequeños insectos. Reside entre la vegetación de las zonas húmedas, entre las grietas del terreno e incluso en el interior de oquedades. Presente en toda la provincia. Especie relativamente común y abundante.

FAMILIA | *Bufonidae* (sapos típicos)

Bufo spinosus (Linnaeus, 1758) - Sapo común ibérico, escuerzo

Sapo capaz de alcanzar tallas verdaderamente enormes, hasta 220 mm, de extremidades cortas, cuerpo muy robusto y rechoncho y glándulas parotoideas oblicuas y de gran tamaño. Piel seca, áspera y dura, poblada de verrugas de diferentes formas y tamaños que generalmente están teñidas de tonos algo más oscuros que el del propio dorso. Coloración de fondo muy variable: parduzca, grisácea, verdosa, rojiza, e incluso inusitadamente oscura. Sobre el dorso destacan lo que podríamos llamar “líneas dorsales”, que en número de cuatro lo recorren; éstas pueden ser de color crema, blanquecino o simplemente más claras que el color de fondo. Cabeza más ancha que larga, morro obtuso, tímpano poco visible. Ojo de pupila horizontal y de color negro, iris de color cobrizo. Vientre color crema, gris, anaranjado, o amarillento, salpicado de puntos grises, pardos o anaranjados. Raros son los ejemplares que alcanzan los 180 mm. de longitud pues lo normal es que no sobrepasen los 120 mm. Las hembras son más corpulentas y alcanzan tallas mayores. Los machos en la época de celo presentan callosidades nupciales en los primeros dedos de los miembros anteriores. El amplexo es axilar y de esta guisa pueden permanecer unidos por espacio de casi un mes.

El celo comienza en el mes de diciembre. Las hembras son capaces de evacuar entre 2.540 y 11.332 huevos. Las larvas alcanzan los 33 mm y terminan la metamorfosis a los tres meses con una talla de entre 9 y 13 mm. Costumbres crepusculares y nocturnas. Al ser molestado, se alza de miembros posteriores, baja la cabeza, resopla, e hincha el cuerpo de aire para aparentar ser de mayor tamaño. Se alimenta de todo tipo de insectos y demás invertebrados que le quepan en la boca. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante.

Epidalea calamita (Laurenti, 1768) - Sapo corredor

Sapo de extremidades cortas, cuerpo robusto, glándulas parotoideas paralelas, pupila horizontal y de color negro, iris amarillento o verdoso. Aspecto en general simpático y rechoncho. Cuerpo muy rugoso, con infinidad de verrugas de diferentes formas y tamaños que a menudo están teñidas de naranja rojo o simplemente de un verde algo más oscuro. Coloración de fondo muy variable, verdoso,

parduzco, rojizo o grisáceo, y por lo general con una línea vertebral de color amarillo o anaranjado. La cabeza es más ancha que larga, morro ligeramente agudo. Tallas normales entre 50 y 65 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 90 mm de longitud. Las hembras son las que alcanzan las tallas mayores y son más robustas. Los machos presentan durante la época de la reproducción callosidades nupciales en los primeros dedos de las extremidades anteriores.

La época de celo comienza con las primeras lluvias de otoño y se extiende hasta el mes de mayo. El amplexo es axilar. Las hembras son capaces de evacuar entre 2.446 y 5.620 huevos. Las larvas son de color negro y alcanzan 28 mm. de longitud. La metamorfosis puede producirse a los 24 días de depositada la puesta con una talla de entre 7 y 13 mm. Se alimenta de todo tipo de pequeños invertebrados. Se desplaza siempre andando o corriendo. Trepa con gran facilidad por cualquier superficie inclinada o casi vertical. Presente en toda la provincia. Especie muy común y abundante.

FAMILIA | *Hylidae* (ranitas)

Hyla meridionalis (Boettger, 1874) - Ranita meridional

Pequeña ranita de cuerpo relativamente robusto, pero en general de apariencia delicada. Cabeza más ancha que larga, de morro obtuso, tímpano bien visible y de color dorado. La pupila es horizontal y de color negro, iris dorado y algo moteado de negro. No presenta glándulas parotoideas. Miembros largos y delicados con los dedos terminados en cojinetes adhesivos de los que se vale para trepar ágilmente por cualquier superficie. Una característica línea negra se extiende desde los orificios nasales hasta el nacimiento de los miembros anteriores. Color de fondo verde brillante. En ocasiones podemos hallar ejemplares de color verde claro, amarillento, gris o raramente oscuro, uniforme o salpicado de manchas oscuras. Vientre granuloso, de color blanco, crema, algo amarillento o rosáceo, especialmente en los cuartos traseros. Tallas normales entre 32 y 44 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 50 mm de longitud. Las hembras son más robustas y las que alcanzan las tallas mayores. Los machos de cuerpo más estilizado y durante el celo presentan un saco vocal amarillento y de gran tamaño que cuando no está hinchado queda reducido a una serie de pliegues.

La época de celo se extiende desde Septiembre (con las primeras lluvias) hasta bien entrado el mes de Mayo. El amplexo es axilar y se puede producir lo mismo en tierra que en el agua. La puesta es depositada en forma de paquetes de diferentes tamaños. En total pueden evacuar entre 1.780 y 3.820 huevos. Las larvas pueden alcanzar una talla de 43 mm de longitud y terminan la metamorfosis aproximadamente a los tres meses con una talla de entre 10 y 16 mm. Costumbres crepusculares y nocturnas, pudiéndose ver de día “pegada” a la vegetación ribereña. Especie eminentemente arborícola, su existencia está muy ligada a la vegetación, donde encuentra alimento, abrigo y protección, pasando desapercibida al resguardo de sus predadores gracias a su total mimetismo. Se alimenta de todo tipo de pequeños invertebrados. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante.

Hyla molleri (Bedriaga, 1890) - Ranita de San Antonio ibérica

Pequeña ranita de cuerpo relativamente robusto, pero en general de apariencia delicada. Cabeza más ancha que larga, de morro obtuso, tímpano bien visible y de color dorado. La pupila es horizontal y de color ne-

gro, iris dorado y algo moteado de negro. No presenta glándulas parotoideas. Miembros largos y delicados con los dedos terminados en cojinetes adhesivos de los que se vale para trepar ágilmente por cualquier superficie. Una característica línea negra se extiende desde los orificios nasales hasta el nacimiento de los miembros posteriores, recorriendo completamente su cuerpo y remontando hacia arriba a la altura de la zona lumbar, en la mayoría de los casos bordeada por otra de color amarillo o blanquecino. Color de fondo de todos los tonos posibles dentro del verde, pero por regla general verde brillante. En ocasiones podemos hallar ejemplares amarillentos, grises o inusitadamente oscuros, a veces salpicados de manchas oscuras. Vientre de color blanco, crema, amarillento o rosáceo, especialmente en los cuartos traseros. Tallas normales entre 30 y 45 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 50 mm de longitud. Las hembras son más robustas y las que alcanzan las tallas mayores. Los machos son de cuerpo más estilizado y durante el celo presentan un saco vocal amarillento de gran tamaño que cuando no está hinchado queda reducido a una serie de pliegues.

La época de celo se extiende desde octubre hasta el mes de mayo. El amplexo es axilar y se puede producir lo mismo en tierra que en el agua. La puesta es depositada en forma de paquetes de diferentes tamaños. Las larvas pueden alcanzar una talla de 48 mm de longitud, terminando la metamorfosis a los tres meses con una talla de entre 10 y 15 mm Costumbres crepusculares y nocturnas, pudiéndose ver de día “pegada” a la vegetación ribereña. Especie eminentemente arborícola, su existencia está muy ligada a la vegetación, donde encuentra alimento, abrigo y protección, pasando desapercibida al resguardo de sus predadores gracias a su total mimetismo. Se alimenta de todo tipo de pequeños invertebrados. Esta especie fue descubierta en la provincia a mediados de los noventa; desde entonces, se ha podido constatar que las escasas poblaciones se han visto mermadas como consecuencia de las grandes sequias y especialmente por los fuegos que han arrasado las zonas que habitaban. En la actualidad se oyen cantar en zonas puntuales de la provincia.

FAMILIA | *Ranidae* (ranas típicas)

Pelophylax perezi (Seoane, 1885) - Rana común, rana verde común

Rana grande y robusta, el más común y abundante de los anfibios onubenses. Miembros posteriores poderosos, largos, especialmente adaptados para el salto y unidos por membranas interdigitales extensas. Color parduzco o verdoso, en ocasiones, y durante el celo, especialmente verdes, muy a menudo con una línea vertebral de color verdosa. Cabeza por lo general tan larga como ancha. Grande, robusta y de morro algo agudo. Tímpano bien visible. Ojos grandes y prominentes, de pupila de forma abombada y de color negro, iris dorado y a menudo moteado de negro. Pliegues dorsolaterales en ambos costados del cuerpo. Vientre liso de color blanquecino, crema o más raramente grisáceo. Tallas normales entre 40 y 75 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 95 mm de longitud. Las hembras siempre son las más corpulentas y las que alcanzan las tallas mayores; los machos son menores y en la época de celo presentan sacos vocales a ambos lados de la comisura de los labios y callosidades nupciales en los primeros dedos de las extremidades anteriores.

Salvo un paréntesis reproductor entre los meses de julio y septiembre, se puede decir que durante el resto de los meses se pueden oír sus ruidosos cantos, coincidiendo el máximo de la reproducción entre los meses de febrero y junio. El amplexo es axilar. Las hembras son capaces de evacuar entre 1.950 y 7.160 huevos. Las larvas alcanzan una talla de hasta 65 mm (hasta 87 mm las que pasan el invierno en este

estado), terminando la metamorfosis a las 8 o 12 semanas con una talla de entre 16 y 22 mm Costumbres muy acuáticas. Es una hábil saltadora y una experta nadadora y buceadora. Se alimenta de todo tipo de invertebrados que merodeen cerca o caigan al agua, incluido pequeños vertebrados que le quepan en la boca. Presente en toda la provincia. Especie muy común y exageradamente abundante.

LÁMINA
08-2

ANFIBIOS ANUROS DE LA PROVINCIA DE HUELVA

A: Sapo partero ibérico *(Alytes cisternasii)*
B: Sapillo pintojo ibérico *(Discoglossus galganoi)*
C: Sapo de espuelas *(Pelobates cultripes)*
D: Sapillo moteado ibérico *(Pelodytes ibericus)*
E: Sapo común ibérico, escuerzo *(Bufo spinosus)*
F: Sapo corredor *(Epidalea calamita)*

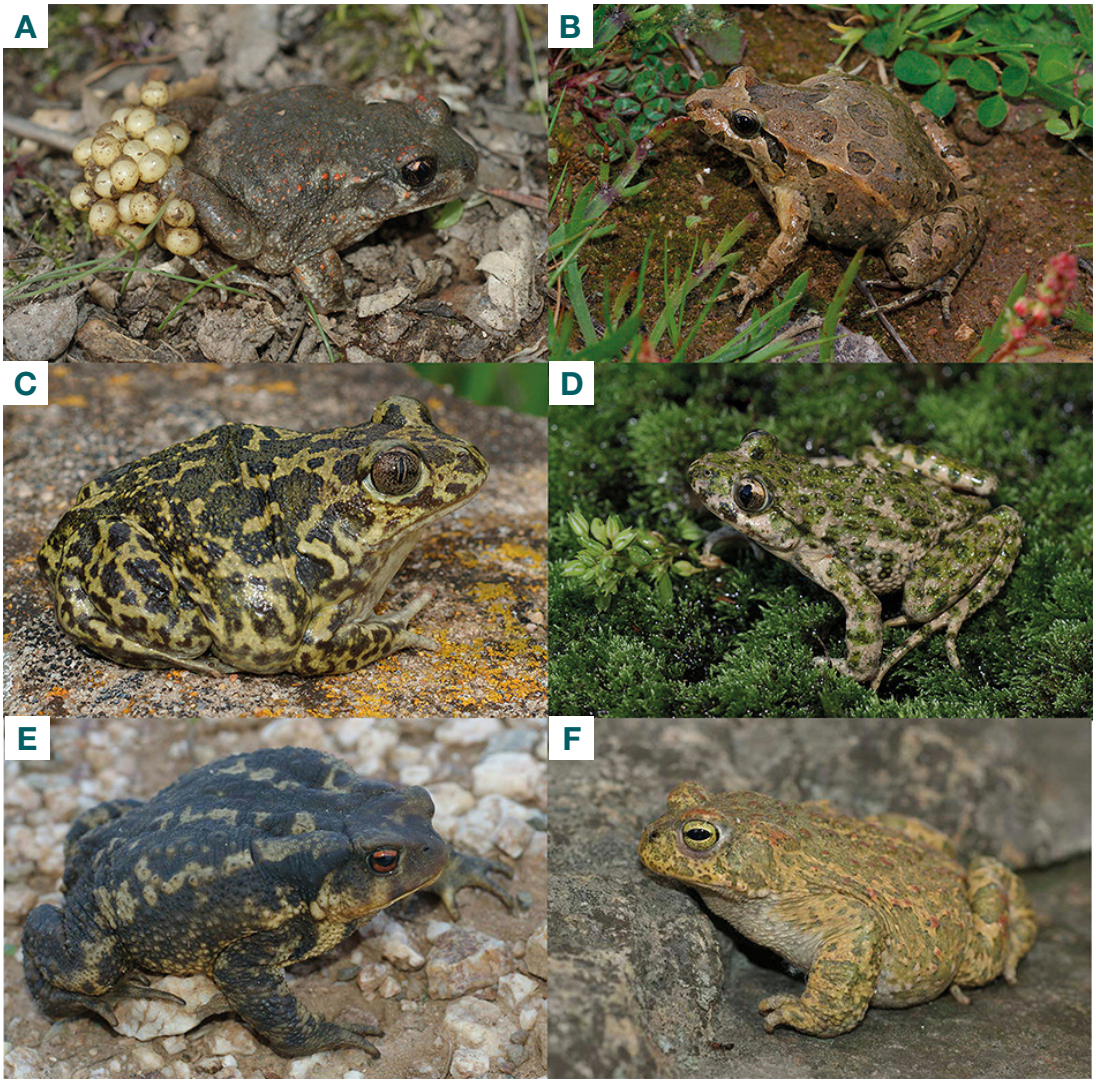


LÁMINA
08-3

ANFIBIOS ANUROS DE LA PROVINCIA DE HUELVA

A: Ranita meridional *(Hyla meridionalis)*

B: Ranita de San Antonio ibérica *(Hyla molleri)*

C: Rana común, rana verde común *(Pelophylax perezi)*

A



B



C



CLASE *REPTILIA* (REPTILES)

ORDEN *CHELONII* (QUELONIOS) | TORTUGAS MARINAS, TERRESTRES Y GALÁPAGOS

FAMILIA | *Cheloniidae* (tortugas marinas)

Caretta caretta (Linnaeus, 1758) - Tortuga boba - (ESPECIE DIVAGANTE)

Tortuga marina de mediano tamaño, raras veces supera el metro de longitud y los 140 kg. de peso. Las tallas normales son de 800 mm. Extremidades anteriores transformadas en poderosas aletas de las que se vale para nadar. El caparazón es alargado y mucho más largo que ancho. Color de fondo amarillo-anaranjado, marrón, o marrón rojizo, vientre amarillento. Alimentación omnívora. Las hembras son mayores que los machos. Se ha podido constatar en varias ocasiones casos de puestas en costas del levante español. El número de huevos por puesta es de unos 80. Es la tortuga marina más observada en las costas de Huelva, tanto vivas en alta mar como muertas arrojadas por el mar a nuestras playas como resultado de su encuentro con barcos de pesca o de sus artes. Especie divagante y relativamente común y abundante.

Chelonia mydas (Linnaeus, 1758) -Tortuga verde - (ESPECIE DIVAGANTE)

Tortuga marina de gran tamaño, puede alcanzar los 150 cm de longitud y los 240 kg de peso. El cuerpo está aplanado dorsoventralmente. La cabeza es pequeña y el hocico corto. La coloración varía con la edad, los jóvenes presentan una coloración verde oscura o café, mientras que los adultos son de color café, manchadas de tonos más claros que semejan pinceladas. Vientre de color amarillento. Las tortugas jóvenes se alimentan de crustáceos y pequeños invertebrados marinos, mientras que las adultas son completamente herbívoras. Ambos sexos son de igual tamaño, los machos presentan una cola más larga y gruesa. El número de huevos por puesta es de 100. Las áreas de puesta se encuentran en Costa Rica, Surinam, Turquía, Chipre, Mauritania, etc. Hasta la fecha la especie ha sido observada una docena de veces en las costas de Huelva. Especie divagante y rara.

Eretmochelys imbricata (Linnaeus, 1766) - Tortuga carey - (ESPECIE DIVAGANTE)

Tortuga marina de mediano tamaño, raras veces supera los 90 cm de longitud y los 80 kg de peso. Caparazón aplanado con bordes aserrados. Extremidades anteriores transformadas en poderosas aletas de las que se vale para nadar. El caparazón es de color ámbar, muy decorado con una combinación de bandas asimétricas, unas claras y otras oscuras. La cabeza es muy alargada, con una boca en forma de pico muy característico por lo afilado que resulta. Se alimenta principalmente de esponjas, medusas y anémonas de mar. Las hembras son algo mayores que los machos, estos tienen la cola mucho más larga. El número de huevos por puesta es de unos 200. Las áreas de puesta se encuentran en Barbados, Puerto Rico, República Dominicana, etc. Hasta la fecha, no llegan a la decena las observaciones de esta especie en la costa onubense. Especie divagante y rara.

Ledidochelys kempii (Garman, 1880) - Tortuga Lora - (ESPECIE DIVAGANTE)

Tortuga marina de pequeño tamaño, raras veces supera los 75 cm de longitud y los 45 kg. de peso. El caparazón es de color gris verdoso y el peto amarillento o blanquecino. El caparazón es relativamente corto y ancho, lo que le da en su conjunto una forma circular o acorazonada. Se alimenta de medusas, crustáceos y moluscos. Las hembras son algo mayores que los machos, estos poseen una cola mucho más larga y las uñas de las aletas delanteras mucho más desarrolladas. El número de huevos por puesta es de unos 100. Las áreas de puesta se encuentran en el golfo de México. Hasta la fecha cuatro son las observaciones de la especie en las costas de Huelva. Especie divagante y rara.

FAMILIA | *Dermochelyidae* (tortuga laúd)

Dermochelys coriacea (Vandelli, 1761) - Tortuga laúd - (ESPECIE DIVAGANTE)

Es la mayor de las tortugas marinas, se citan ejemplares de 2,3 m de longitud y 900 kg. de peso. El caparazón es muy alargado y se va estrechando progresivamente hasta terminar en forma de punta, guardando gran parecido, en su conjunto, con el instrumento musical. El dorso presenta siete quillas y no está formado por placas óseas como las del resto de quelonios, sino por un tipo de tejido blando con aspecto de cuero que llega a unirse con el peto formando en su conjunto el cuerpo. Dorso y aletas de color negro con pequeñas manchas por lo general rosáceas, vientre de color blanquecino o rosáceo. Se alimenta básicamente de medusas. Se han podido constatar puestas en la isla de Lanzarote, pero las zonas preferidas para anidar son Guyana, Puerto Rico, Honduras o Costa Rica. El número de huevos por puesta ronda los 100. Después de la tortuga boba, la tortuga laúd es la que cuenta con más avistamientos en la costa onubense, la mayoría de los casos, por desgracia, de ejemplares muertos. Especie divagante y relativamente común y abundante.

FAMILIA | *Emydidae* (galápagos del nuevo mundo)

Emys orbicularis (Linnaeus, 1758) - Galápago europeo

Galápago con el caparazón ovalado, relativamente aplanado y algo más ancho por la parte posterior, color de fondo marronáceo, pardo o mucho más a menudo negro, decorado por puntos y líneas de color amarillo que se distribuyen por cada placa en forma de abanico, los bordes de dichas placas pueden estar también ribeteadas del mismo color. La cabeza es grande, de color negro, de piel lisa y muy pintada de amarillo. La pupila es de forma circular y de color negro, iris amarillento y muy a menudo está atravesado por líneas de color rojizo que semejan una hélice. Extremidades aplanadas, escamosas y con los dedos unidos por membranas interdigitales. Tallas normales entre 120 y 150 mm. Son muy raros los ejemplares que alcanzan los 200 mm de longitud. Las hembras son las que alcanzan las tallas mayores. Los machos tienen la cabeza de mayor tamaño, la cola más larga y el peto es de forma cóncava.

Tienen dos periodos de celo al año, el primero entre los meses de marzo y julio y el segundo desde octubre a diciembre. Tras el segundo celo no se producen puestas. Las hembras pueden depositar hasta un total de 20 huevos repartidos en varias puestas. Transcurridos entre 55 y 78 días se producen las eclosiones con una talla de entre 31 y 35 mm de longitud. Costumbres eminentemente acuáticas y diurnas. Pasa el día asoleándose en las orillas o entre la vegetación acuática, siempre pendientes al más mínimo peligro para arrojarse al agua. Reside en ríos de escasa corriente, arroyos y lagunas en general con la condición de que no estén contaminados. Se alimenta de anfibios, puestas y larvas de estos, peces y en general de cualquier excremento, carroña o animal muerto que se encuentre en el agua. Presente en toda la provincia. Especie poco común y rara. Sus poblaciones han disminuido alarmantemente.

Trachemys scripta (Schoepff, 1792) - Galápago de Florida - (INTRODUCIDA)

Galápago originario de Norteamérica, con el caparazón ovalado, relativamente aplanado y algo más ancho por la parte posterior, color de fondo verde oliváceo o marrón, con manchas amarillentas en forma de líneas que recorren tanto las placas que forman el caparazón como la piel de los ejemplares. La cabeza es relativamente grande, del mismo color del resto del cuerpo, de piel lisa y muy pintada de amarillo. La pupila es de forma circular y de color negro, iris amarillento o verdoso, muy a menudo atravesado por una línea horizontal de color negro. Extremidades aplanadas, escamosas y con los dedos unidos por membranas interdigitales. Las tallas normales para los machos son de 150 mm y 210 mm para las hembras. Raros son los ejemplares que alcanzan los 250 mm de longitud. Los machos tienen la cabeza de menor tamaño, la cola más larga y las uñas de los dedos de las extremidades anteriores muy largas, y son usadas en los prolegómenos a la cópula a modo de “danza”. Ambos sexos presentan una característica mancha a modo de “orejas” detrás de los ojos, de color rojo para la subespecie *T. scripta elegans* y de color amarillo para las subespecies *T. s. scripta* y *T. scripta troosti*.

El celo se extiende desde marzo hasta julio. Las hembras pueden depositar entre 2 y 11 huevos por puesta. Transcurridos entre 63 y 81 días se producen las eclosiones con una talla de entre 25 y 33 mm de longitud. Costumbres eminentemente acuáticas y diurnas. Pasa el día soleándose en las orillas o entre la vegetación acuática, siempre pendientes a la más mínima señal de peligro para arrojarse al agua. Presente en todo tipo zonas acuáticas compartiendo hábitats con los galápagos autóctonos. Alimentación omnívora: invertebrados, carroña, restos animales, plantas acuáticas, anfibios, larvas, puestas, etc. Se introdujo masivamente en muchos países como mascota, entre ellos España a partir del año 1985. Tanto las sueltas intencionadas como la evasión de ejemplares de su cautiverio hacen que hoy día se pueden encontrar ejemplares de esta especie en cualquier parte de la provincia, en la cual se ha podido verificar su reproducción y total aclimatación.

FAMILIA | *Geoemydidae* (galápagos del viejo mundo)

Mauremys leprosa (Schweigger, 1812) - Galápago leproso

Galápago con el caparazón aplanado y ovalado, más ancho por la parte posterior que por la anterior. Color de fondo oliváceo, gris, pardo o marronáceo y en general poco decorado por manchas más oscu-

ras. Es muy común el desconchamiento del espaldar debido a las incrustaciones de algas, lo que le da un aspecto muy deslucido y por lo cual se le conoce con el nombre de galápago leproso. Extremidades aplanadas, fuertes, escamosas, con los dedos unidos por membranas interdigitales. La cabeza es relativamente grande y de similar color al del dorso. La pupila es de forma circular y de color negro, iris plateado y atravesado por una línea horizontal de color negro. Son rarísimos los ejemplares que alcanzan los 250 mm de longitud, y sí son más comunes las tallas de entre 130 y 170 mm. Las hembras son las que alcanzan las tallas mayores, son más corpulentas y pesadas, a la vez que el peto es plano o algo convexo, y la cola es más corta (el ano no llega a sobrepasar el caparazón). Los machos tienen el peto cóncavo, la cola más larga (el ano sobrepasa el caparazón), y el dorso termina en una quilla.

Tienen dos periodos de celo al año, el primero entre los meses de marzo y julio y el segundo desde octubre a diciembre. Tras el segundo celo no se producen puestas. Las hembras pueden depositar hasta un total de 22 huevos repartidos en varias puestas. Transcurridos entre 56 y 82 días se producen las eclosiones con una talla de entre 23 y 25 mm de longitud. Costumbres eminentemente acuáticas y diurnas. Pasan el día asoleándose en las orillas, sobre la vegetación flotante o cualquier objeto emergido, o nadando y buceando en busca de alimento. En todos los casos siempre preparado para emprender la huida hacia el fondo de la zona acuática a la más mínima señal de peligro. Está presente en todo tipo de aguas, por muy contaminadas que estén. Se alimenta de todo tipo de insectos acuáticos, ninfas y sus larvas o de los que caen a la misma, también de anfibios, larvas y puestas de estos, cadáveres de animales, excrementos y carroña en general. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante.

FAMILIA | *Testudinidae* (tortugas de tierra)

Testudo graeca (Linnaeus, 1758) - Tortuga mora

Tortuga de tierra de caparazón alto y de forma muy abombada. Color de fondo amarillento y a veces con tonos oliváceos, con dibujos de color negro en todas y cada una de las grandes escamas o placas que forman tanto el espaldar como el peto. La coloración del peto es muy similar a la del espaldar. Posee escamas axilares e inguinales. Las extremidades son cortas, fuertes y robustas. La escama supracaudal es única, la nucal larga y estrecha y los muslos por la parte posterior presentan un espolón córneo. Los individuos juveniles son de tonos más claros que los adultos. Raros son los ejemplares que alcanzan los 200 mm de longitud, siendo las tallas normales las comprendidas entre los 140 mm para los machos y los 165 mm para las hembras. Estas son las que alcanzan las tallas mayores y tienen el caparazón más alto. Los machos son más pequeños, tienen la cola más larga, la escama supracaudal curvada hacia dentro y la parte posterior del caparazón más ancho. El peto presenta una característica depresión en la zona posterior, totalmente inexistente en las hembras.

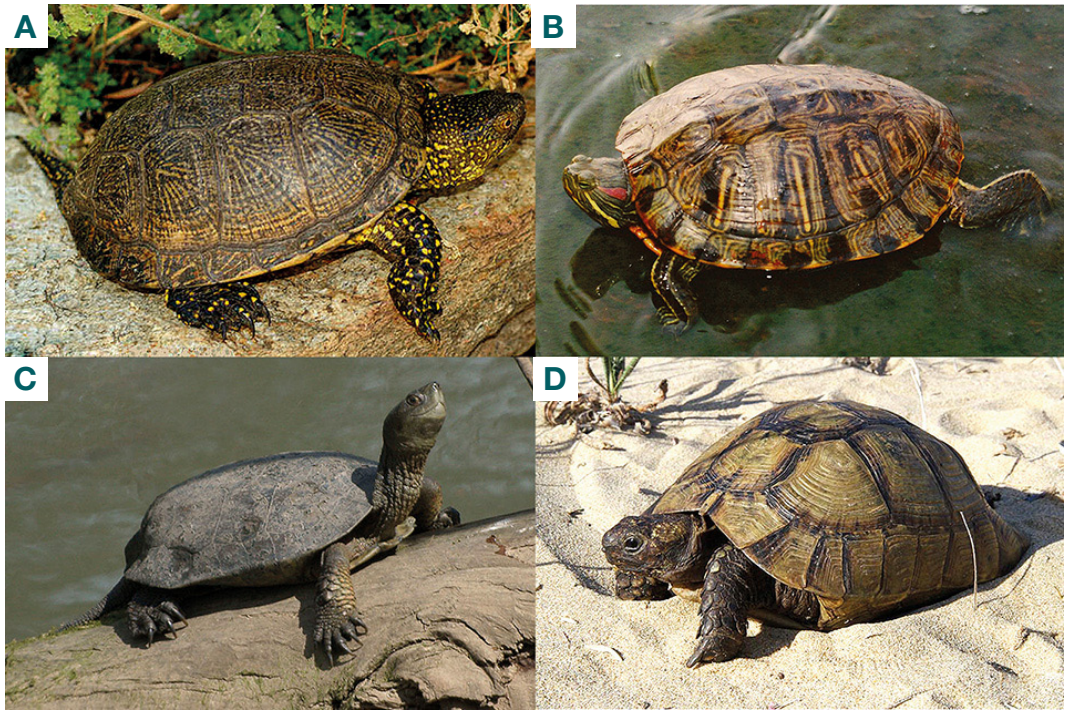
Tienen dos épocas de celo al año, la primera desde febrero hasta mediados de junio y la segunda desde finales de agosto a finales de noviembre. Tras el segundo celo no se producen puestas. Durante el mismo los machos se tornan exageradamente activos y no cesan en su afán por copular con las

hembras. La puesta consta de hasta un total de ocho huevos. Tras un tiempo de incubación de entre 85 y 136 días se produce la eclosión con un tamaño de caparazón de entre 30 y 36 mm. Alimentación básicamente vegetariana. Reside en zonas de dunas costeras con escasa vegetación. Esta tortuga, antaño abundante en la zona costera de nuestra provincia, hoy día cuenta tan solo con poblaciones reducidas en el Parque nacional de Doñana y zonas aledañas al mismo.

LÁMINA
08-4

QUELONIOS (GALÁPAGOS Y TORTUGAS DE TIERRA) DE LA PROVINCIA DE HUELVA

A: Galápago europeo (*Emys orbicularis)*
B: Galápago de Florida *(Trachemys scripta)*
C: Galápago leproso *(Mauremys leprosa)*
D: Tortuga mora *(Testudo graeca)*



ORDEN *SQUAMATA* (ESCAMOSOS)

| SUBORDEN *SAURIA* (SAURIOS)

FAMILIA | ***Chamaeleonidae*** (camaleones)

Chamaeleo chamaeleon (Linnaeus, 1758) - Camaleón común

Reptil de cuerpo arqueado y muy comprimido lateralmente. Las extremidades son largas y delgadas, la cola prensil y por regla general algo menor que el resto del cuerpo. Cabeza bien diferenciada del cuerpo, muy dura y puntiaguda. Los ojos son muy prominentes, se alojan a ambos lados de la cabeza y con ellos son capaces de mirar a diferentes sitios a la vez (visión estereoscópica). La lengua se encuentra replegada en una cavidad que posee a modo de bolsa en la parte inferior de la boca y puede ser proyectada con gran precisión y velocidad a una distancia tan larga como la longitud total del individuo; con ella atrapa a sus presas, gracias al extremo anterior mazudo y pegajoso. Cuerpo con un color de fondo inusitadamente variable, pudiéndolo variar a voluntad; de tal forma aparecen individuos de color verde, amarillento, pardo, e incluso azulado o extremadamente negro. Las variaciones del color son fiel testigo del estado anímico, de factores ambientales, e incluso del rango que ocupa cada individuo con respecto a sus congéneres. Vientre siempre recorrido por una línea de color blanco o crema. Las hembras fecundadas toman un color azul oscuro manchado de amarillo.

Tallas normales entre 190 y 250 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 310 mm de longitud total. Las hembras son las que alcanzan las tallas mayores. Reproducción ovípara. Una puesta al año de entre 4 y 36 huevos depositados en otoño. Los pequeños nacen en el transcurso del siguiente verano con una talla de entre 50 y 72 mm de longitud total. Costumbres diurnas y arborícolas. Alimentación insectívora. Aunque nos podemos topar con ejemplares en cualquier parte de la geografía onubense, fruto de la captura y posterior suelta por parte de veraneantes, su distribución abarca la franja costera, donde vive sobre retamas, pinos, sabinas y cultivos de frutales. Especie común y abundante, aunque difícil de observar.

FAMILIA | ***Gekkonidae*** (salamanquesas y afines)

Hemidactylus turcicus (Linnaeus, 1758) - Salamanquesa rosada

Saurio con cuerpo de apariencia delicada, aplanado dorsoventralmente y cubierto de tubérculos o excrecencias más o menos duras que se disponen longitudinalmente. La cola es de aproximadamente la misma longitud que el resto del cuerpo. Cabeza bien diferenciada del cuerpo, alargada, aplanada y de morro agudo. Los ojos son grandes, con los párpados no movibles, pupila vertical y de color negro, iris gris oscuro o cobrizo, muy moteado de negro y marrón. Cuerpo con un color de fondo variable, siendo los más comunes el rosáceo, pardo-claro, pardo-amarillento e incluso translúcido, pero siem-

pre moteado de oscuro, dicha coloración pueden variarla a voluntad. Vientre de color siempre más claro que el del dorso.

Tallas normales entre 80 y 95 mm. Raramente alcanza los 115 mm. de longitud total. Machos con tallas mayores. Celo entre marzo y julio. Reproducción ovípara. Hasta cuatro puestas al año, normalmente de dos huevos. Tras 50 a 72 días nacen los jóvenes con una talla de entre 37 y 53 mm de longitud total. Costumbres crepusculares y nocturnas. Alimentación insectívora. Presente en toda la provincia, rara en la zona costera. Especie común y abundante.

FAMILIA | *Phyllodactylidae* (salamanquesas y perenquenes)

Tarentola mauritanica (Linnaeus, 1758) - Salamanquesa común

Saurio de cuerpo robusto, aplanado dorsoventralmente y cubierto de tubérculos o excrecencias duras que le confieren un tacto espinoso. La cola es de aproximadamente la misma longitud que el resto del cuerpo. Cabeza bien diferenciada del cuerpo, ancha, aplanada y de morro obtuso. Ojos muy grandes, con los párpados no movibles, de pupila vertical y color negro, iris gris o plateado, tenuemente moteado de negro. Cuerpo con un color de fondo muy variable, siendo los más comunes los grises, pardos o los exageradamente oscuros, pero casi siempre moteado de tonos más claros, dicha coloración pueden variarla a voluntad. Vientre de color siempre más claro que el del dorso.

Tallas normales entre 145 y 160 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 190 mm de longitud total. Machos con tallas mayores. Celo entre marzo y julio. Reproducción ovípara. Hasta cuatro puestas al año, normalmente de dos huevos, más raramente uno o tres. Tras 55 a 98 días nacen los jóvenes con una talla de entre 40 y 58 mm de longitud total. Costumbres crepusculares y nocturnas. Alimentación eminentemente insectívora. Presente en toda la provincia. Especie muy común y exageradamente abundante.

FAMILIA | *Lacertidae* (lagartijas y lagartos típicos)

Acanthodactylus erythrurus (Schinz, 1833) - Lagartija colirroja

Lagartija de cuerpo robusto, extremidades bien desarrolladas y cola de doble longitud que el resto del cuerpo. Cabeza grande, ancha, de morro corto y sin escama occipital. Los ojos son de pupila circular y de color negro, iris cobrizo. Collar de borde aserrado y en forma de “V”. Sobre un color de fondo crema, pardo-grisáceo, amarillento e incluso de tonos rojizos, se alternan hileras longitudinales, unas de color blanco, crema o amarillento y otras de tonos pardos, rojizos, grisáceos o a veces, exageradamente oscuros. Sobre estas últimas bandas se asientan dibujos o manchas asimétricas de tonos aún más oscuros. Escamas dorsales planas y de pequeño tamaño. Vientre de color blanco y sin dibujo alguno. Los individuos juveniles con la cola de color rojo y el dorso recorrido por siete líneas negras que se alternan con otras de color blanco o crema. Hembras y subadultos a menudo con los muslos y la parte inferior de la cola de color rojo.

Tallas normales entre 160 y 190 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 240 mm de longitud total. Los machos son los que alcanzan las tallas mayores. Celo entre Marzo y Julio. Reproducción ovípara. Normalmente dos puestas al año de entre 1 y 6 huevos. Tras 51 y 77 días nacen los jóvenes con una talla de entre 78 y 89 mm de longitud total. Costumbres totalmente diurnas. Alimentación eminentemente insectívora. Especie común y abundante en la zona costera, en la que vive en arenales, dunas y demás terrenos abiertos. Menos abundante en El Condado y Andévalo. Falta en La Sierra.

Podarcis carbonelli (Pérez-Mellado, 1981) - Lagartija de Carbonell

Lagartija de mediano tamaño, extremidades bien desarrolladas y cola de doble longitud que el resto del cuerpo. Cabeza bien diferenciada del cuerpo, especialmente en los machos. Ojos de pupila circular y color negro, iris amarillento o anaranjado. Collar de borde liso y bien patente. Escamas del dorso lisas y de pequeño tamaño. Color y diseño del cuerpo variable, pero por lo general con ocelos de diferentes formas y colores que se alinean a modo de líneas dorsales a lo largo del cuerpo. Predomina el color verde, pardo o pardo-verdoso, especialmente en los costados, más aún en la época de celo. Ocelos azules bordean el vientre, a menudo acompañados de puntos negros.

Tallas normales entre 140 y 150 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 170 mm de longitud total. Los machos con tallas mayores. Celo entre febrero y julio. Reproducción ovípara. Normalmente tres puestas al año de entre uno y cuatro huevos. Tras un tiempo de incubación de entre 51 y 89 días nacen los jóvenes con una talla de entre 64 y 72 mm de longitud total. Costumbres diurnas. Alimentación eminentemente insectívora. Solamente está presente en las dunas costeras del sureste de la provincia (P. N. de Doñana y zonas cercanas). Especie relativamente común y abundante.

Podarcis vaucheri (Boulenger, 1905) - Lagartija andaluza

Lagartija de cuerpo robusto, extremidades largas y cola de doble longitud que el resto del cuerpo. Cabeza grande y ancha en los machos y de morro puntiagudo. Los ojos tienen la pupila circular y de color negro, iris amarillento o anaranjado. Collar de borde liso y bien patente. Escamas del dorso lisas y de pequeño tamaño. Color y diseño de dorso muy variable. Normalmente en los machos abundan los dibujos de tonos oscuros que uniéndose semejan dos granjas anchas longitudinales en el dorso, aunque no don raros los ejemplares de dibujo uniforme o los excesivamente decorados, siendo muy común la presencia de ocelos de color azul en los costados. Durante el celo el dorso puede presentar irisaciones de color verde. Las hembras son de tonos más apagados y las bandas laterales parecen estar algo más desdibujadas. Vientre blanquecino, grisáceo, amarillento, anaranjado e incluso cobrizo, siendo estos últimos los más propios durante la época de celo. Juveniles de color más claro y la cola de color azul o verdoso.

Tallas normales entre 160 y 180 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 200 mm de longitud total. Los machos son los que alcanzan las tallas mayores. Celo entre febrero y julio. Reproducción ovípara. Son posibles hasta cuatro puestas de entre 1 y 6 huevos. Tras un tiempo de incubación de entre 48 y 82 días nacen los jóvenes con una talla de entre 56 y 81 mm de longitud total. Costumbres totalmente diurnas. Alimentación eminentemente insectívora. Presente en las zonas centro y sur de la provincia. Especie muy común y abundante.

Podarcis virescens (Geniez, Sá-Sousa, Guillaume, Cluchier & Crochet, 2014) - Lagartija ibérica verdosa, lagartija verdosa, lagartija de Geniez.

Lagartija de mediano tamaño, cuerpo robusto, extremidades largas y cola de doble longitud que el resto del cuerpo. Cabeza de morro puntiagudo, grande y ancha en los machos. Los ojos tienen la pupila circular y de color negro, iris amarillento o anaranjado. Collar de borde liso y bien patente. Escamas del dorso lisas y de pequeño tamaño. Color y diseño del dorso muy variable. Normalmente en los machos abundan los dibujos de tonos oscuros mezclados con ocelos más claros que parecen seguir alguna alineación pero en la mayoría de los casos sin conseguirla. Durante el celo aparecen en el cuerpo irisaciones de color verde. Ocelos azules en los costados, mucho más patentes durante el celo. Vientre amarillento o anaranjado, más intenso durante la época de celo. Las hembras son de tonos más apagados, dorso punteado de oscuro con franjas oscuras en los costados y, sobre estas, ocelos de color crema perfectamente alineados. Juveniles de tonos más oscuros y con puntos blanquecinos. Cola a menudo coloreada de azul o verde.

Tallas normales entre 125 y 140 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 165 mm de longitud total. Los machos son los que alcanzan las tallas mayores. Celo entre febrero y julio. Reproducción ovípara. Normalmente tres puestas al año de entre dos y cinco huevos. Tras un tiempo de incubación de entre 42 y 91 días nacen los jóvenes con una talla de entre 64 y 68 mm de longitud total. Costumbres totalmente diurnas. Alimentación eminentemente insectívora. Presente en las zonas centro y norte de la provincia. Especie muy común y abundante.

Psammodromus algirus (Linnaeus, 1758) - Lagartija colilarga

Lagartija de gran tamaño, extremidades bien desarrolladas y cola exageradamente larga, superior al doble de la longitud del cuerpo. Cabeza robusta, especialmente en los machos. Los ojos tienen la pupila circular y de color negro, iris amarillento o cobrizo. Durante el celo, los machos presentan la cabeza y parte de la garganta bellamente coloreada de naranja o rojo. Collar ausente. Cuerpo cubierto por escamas muy carenadas y terminadas en pico. Color de fondo marrón, pardo-grisáceo, pardo-cobrizo u oliváceo, anaranjado durante la época de celo. Por regla general, presentan una ancha franja dorsal bordeada de oscuro y otra más estrecha en los costados. Entre las franjas citadas presenta otras más estrechas de color crema. Zona axilar con ocelos de color azul. Vientre siempre más claro.

Tallas normales entre 190 y 230 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 290 mm de longitud total. Las hembras alcanzan las tallas mayores. Celo entre febrero y julio. Reproducción ovípara. Son posibles tres puestas al año con un número de huevos que oscila entre 2 y 11. Tras un tiempo de incubación de entre 52 y 87 días nacen los jóvenes con una talla de entre 69 y 88 mm de longitud total. Costumbres diurnas. Alimentación insectívora. Presente en toda la provincia. Especie muy común y abundante.

Psammodromus occidentalis (Fitze, González-Jimena, San-José, San-Mauro & Zardoya, 2012) - Lagartija cenicienta occidental

Lagartija de pequeño tamaño, extremidades bien desarrolladas y cola de doble longitud que el resto del cuerpo. Cabeza con morro algo alargado, relativamente grande en los machos, pero en general poco diferenciada del cuerpo. Los ojos tienen la pupila circular y de color negro, iris amarillento o cobrizo. Collar de borde liso y poco patente. Dorso cubierto de escamas grandes y muy carenadas. Color de fondo gris,

pardo, oliváceo o cobrizo, amarillento o verdoso durante el celo. No son raros los ejemplares sin diseño y coloración uniforme, pero generalmente con cuatro líneas longitudinales de color blanco o crema interrumpidas a menudo por manchas oscuras que se alinean a su vez horizontalmente. Costados con líneas similares a las del dorso. Machos en celo con ocelos de color azul o verde en la base de las extremidades anteriores o entre ambas. Vientre de color blanco o crema, con irisaciones de color verde, azul o metálico.

Tallas normales entre 110 y 130 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 150 mm de longitud total. Las hembras alcanzan las tallas mayores. Celo entre febrero y Julio. Reproducción ovípara. Son posibles tres puestas al año, con un número de huevos que oscila entre 1 y 6. Tras un tiempo de incubación de entre 47 y 80 días, nacen los jóvenes con una talla de entre 54 y 64 mm de longitud total. Costumbres diurnas y terrestres, pudiendo trepar a los arbustos en caso de peligro. Alimentación insectívora. Presente en toda la provincia. Especie relativamente común y abundante.

Timon lepidus (Daudin, 1802) - Lagarto ocelado

Lagarto de cuerpo muy robusto, capaz de alcanzar tallas enormes, de extremidades bien desarrolladas y cola de doble longitud que el resto del cuerpo. Cabeza grande y desproporcionada, especialmente en los machos. El morro es alargado y obtuso, los ojos tienen la pupila circular y de color negro, iris cobrizo. Collar de borde liso y bien patente. Las mandíbulas son muy poderosas, capaz de romper el más duro de los caparazones de los coleópteros y de propinar dolorosos mordiscos a quien lo importuna. Tanto los adultos como los subadultos presentan sobre un fondo verde o verde-amarillento, un verdadero mosaico de gran belleza formado por las pequeñas escamas dorsales que son de forma redondeadas y coloreadas de verde, negro, azul y amarillo. Los costados son algo más claros y están adornados por tres o cuatro hileras paralelas de grandes ocelos azules. Vientre blanquecino, amarillento o verdoso pero sin dibujo alguno. Los juveniles son de color verde con lunares claros.

Raros son los ejemplares que alcanzan los 620 mm pues las tallas normales son menores. Destaca un ejemplar macho adulto con la cola completa, cosa rara para ejemplares de esa edad, que midió 754 mm de longitud total. Celo entre abril y julio. Son posibles dos puestas al año de entre 6 y 20 huevos. Tras 69 a 107 días nacen los jóvenes con una talla de entre 96 y 129 mm de longitud total. Costumbres diurnas. Se alimenta de todo tipo de invertebrados, otros saurios y ofidios, huevos de aves y pequeños mamíferos. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante.

FAMILIA | *Scincidae* (eslizones)

Chalcides bedriagai (Boscá, 1880) - Eslizón ibérico

Saurio de cuerpo corto, rechoncho, cilíndrico y con extremidades reducidas, pero con cinco dedos en cada una de ellas. El cuerpo está cubierto tanto por el dorso como por el vientre, de escamas de similar tamaño, lisas, grandes e imbricadas. Cabeza de forma triangular y de hocico redondeado, a menudo coloreado de naranja, más ancha por la parte posterior y, en general, poco diferenciada del resto del cuerpo. Los ojos son de pequeño tamaño, de pupila circular y color negro, iris amarillento o

cobrizo. Cola corta, ancha y de aproximadamente el mismo tamaño que el resto del cuerpo. Cuerpo con un color de fondo variable, predominando los tonos claros y brillantes, amarillento, parduzco u oliváceo, con pequeños ocelos claros ribeteados de oscuro. Vientre de color más claro que el dorso.

Tallas normales entre 125 y 150 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 180 mm de longitud total. Hembras con tallas mayores. Celo entre marzo y junio. Especie ovovivípara, entre 1 a 6 crías con una talla de entre 56 y 75 mm de longitud total. Costumbres totalmente diurnas. Alimentación eminentemente insectívora. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante.

Chalcides striatus (Cuvier, 1829) - Eslizón tridáctilo ibérico

Saurio de cuerpo muy alargado, cilíndrico, con extremidades muy atrofiadas y tan solo tres dedos en cada una de ellas. El cuerpo está cubierto, tanto por el dorso como por el vientre, de escamas de similar tamaño, lisas, grandes e imbricadas. Cabeza de forma triangular y con morro puntiagudo, más ancha por la parte posterior y, en general, poco diferenciada del resto del cuerpo. Los ojos son de pequeño tamaño, de pupila circular y color negro, iris amarillento o cobrizo. Cuerpo con un color de fondo grisáceo, plomizo, bronceado o pardo, pero siempre con brillo metálico. Presenta líneas dorsales longitudinales de tonos más oscuros a lo largo del cuerpo en número de 9 a 11. Vientre de color más claro. La cola, cuando se encuentra intacta, es más larga que el resto del cuerpo.

Tallas normales entre 200 y 270 mm. Raramente alcanza los 440 mm. de longitud total. Las hembras alcanzan las tallas mayores. Celo entre marzo y junio. Especie ovovivípara, entre 1 y 16 crías con una talla de entre 78 y 104 mm de longitud total. Costumbres diurnas. Alimentación insectívora. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante.

LÁMINA
08-5

SAURIOS DE LA PROVINCIA DE HUELVA

A: Camaleón común *(Chamaeleo chamaeleon)*
B: Salamanquesa rosada *(Hemidactylus turcicus)*
C: Salamanquesa común *(Tarentola mauritanica)*
D: Lagartija colirroja *(Acanthodactylus erythrurus)*
E: Lagartija de Carbonell *(Podarcis carbonelli)*
F: Lagartija andaluza *(Podarcis vaucheri)*



LÁMINA
08-6

SAURIOS DE LA PROVINCIA DE HUELVA

A: Lagartija ibérica verdosa, lagartija verdosa *(Podarcis virescens)*

B: Lagartija colilarga *(Psammodromus algirus)*

C: Lagartija cenicienta occidental *(Psammodromus occidentalis)*

D: Lagarto ocelado *(Timon lepidus)*

E: Eslizón ibérico *(Chalcides bedriagai)*

F: Eslizón tridáctilo ibérico *(Chalcides striatus)*



| SUBORDEN *AMPHISBAENIA* (ANFISBÉNIDOS)

FAMILIA | *Blanidae* (culebrillas ciegas)

Blanus cinereus (Vandelli, 1797) - Culebrilla ciega del Suroeste Ibérico

Reptil con más forma de ofidio que de saurio. Cuerpo cilíndrico cubierto de escamas cuadrangulares que se alinean en forma de anillos. Guarda gran parecido con las lombrices. No presenta extremidades, cola muy corta. Coloración de fondo variable: rosa, grisáceo o marrón, sin diseño alguno. El vientre suele ser de tonos más claros. Cabeza de pequeño tamaño, poco diferenciada del cuerpo, de forma triangular y de cierto parecido con la cola. Morro de forma redondeada, sin oído externo y ojos muy atrofiados y cubiertos por una escama (al parecer no hace uso alguno de ellos).

Tallas normales entre 170 y 230 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 300 mm de longitud total. Hembras con tallas mayores. Reproducción ovípara, entre 1 y 3 huevos. Incubación entre 69 y 82 días, miden al nacer entre 78 y 86 mm de longitud total. Costumbres eminentemente terrestres y subterráneas. Se alimenta de toda clase de pequeños insectos, ninfas y sus larvas, principalmente de hormigas y termitas. Presente en toda la provincia. Especie muy común y abundante.

LÁMINA 08-7

ANFISBÉNIDO DE LA PROVINCIA DE HUELVA

A: Culebrilla ciega del Suroeste Ibérico *(Blanus cinereus))*



| SUBORDEN *SERPENTES* (SERPIENTES U OFIDIOS)

FAMILIA | *Colubridae* (culebras típicas)

Coronella girondica (Daudin, 1803) - Culebra lisa meridional

Culebra de mediano tamaño, cuerpo robusto y cabeza por lo general poco diferenciada del cuerpo, alargada y de morro redondeado. Los ojos son de pupila circular y de color negro, iris amarillo, anaranjado o rojizo, muy sombreado de oscuro. Sobre la cabeza suele presentar tres dibujos oscuros, de los cuales el más representativo es el que le recorre a modo de antifaz. Es una culebra aglifa, es decir carece de dientes venenosos. Cuerpo de color grisáceo, grís- metálico, marrón, anaranjado e incluso rojizo, con manchas oscuras en forma de ocelos o con estos mismos unidos a modo de franjas que se alinean transversalmente. Dichas manchas pueden ser muy patentes o exageradamente desdibujadas. Escamas dorsales lisas, en número de 21 en mitad del cuerpo. Vientre amarillento, rojizo o rosáceo, pero más a menudo cenizo o crema y siempre decorado por dibujos cuadrangulares de color negro que se alinean paralelamente a lo largo del cuerpo.

Tallas normales entre 400 y 500 mm. Raros son los ejemplares que alcanzan los 700 mm de longitud total. Las hembras son las que alcanzan las tallas mayores. Reproducción ovípara, entre 4 y 8 huevos. Incubación entre 45 y 53 días, miden al nacer entre 185 y 197 mm de longitud total. Costumbres eminentemente crepusculares y nocturnas. Se alimenta principalmente de lagartijas y salamanquesas. Presente en toda la provincia. Especie poco común y relativamente abundante.

Hemorrhois hippocrepis (Linnaeus, 1758) - Culebra de herradura

Culebra de cuerpo estilizado, largo, delgado y muy decorado por dibujos en forma de grandes lunares oscuros que le recorren el cuerpo a modo de rosario. Cabeza bien diferenciada del cuerpo y de morro redondeado. Ojos grandes, de pupila circular y color negro, iris amarillento y muy sombreado de negro. Es característico en esta especie el presentar dos dibujos en forma de “V” invertida en la cabeza, de las cuales la posterior tiene cierto parecido con una herradura, de ahí su nombre común. Culebra aglifa, es decir carece de dientes venenosos. Sobre un color de fondo crema, amarillo-cenizo, amarillento o anaranjado, aparecen gran número de dibujos a modo de círculos de color pardo, violeta, negro o marrón, ribeteados de negro y a su vez de blanco, crema o amarillento que se distribuyen a lo largo del dorso a modo de rosario. Escamas dorsales lisas, en número de 25 o 27 a mitad del cuerpo. Vientre rojizo, amarillento o más a menudo anaranjado, con tenues dibujos oscuros en sus márgenes. Juveniles con diseños claros, adultos a menudo de tonos muy oscuros.

Machos con tallas mayores. Raros son los ejemplares que alcanzan los 1.800 mm de longitud total, siendo las tallas normales las que no sobrepasan los 1.500 mm. Reproducción ovípara, entre 4 y 10 huevos. Incubación entre 51 y 68 días, miden al nacer entre 335 y 402 mm de longitud total. Costumbres eminentemente diurnas. Extremadamente ágil, rápida y escurridiza. Muy agresiva e irascible.

Los jóvenes se alimentan de saurios, mientras que los adultos lo hacen de roedores y sus crías, aves, saurios y determinados anfibios. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante.

Macroprotodon brevis (Günther, 1862) - Culebra de cogulla occidental

Culebra de pequeño tamaño, cuerpo robusto, cabeza aplanada bien diferenciada del cuerpo y morro redondeado. Ojos pequeños, de pupila algo ovalada, color negro y circundada de amarillo, iris amarillo y muy sombreado de negro. Sobre la cabeza presenta típicamente dos dibujos de color negro intenso, uno a modo de antifaz, y otro a modo de collar en la zona de la nuca. Especie opistoglífa, es decir presenta un par de dientes acanalados y de diferente tamaño al de los demás, que se alojan en la parte posterior del maxilar superior y están en comunicación con glándulas venenosas, pero debido a su pequeño tamaño, a lo poco activo de su veneno y a la posición tan atrasada de los mismos, no son peligrosos para el hombre y sí para los lacértidos de los que se alimenta. Color de fondo grisáceo, gris metalizado o parduzco, con pequeños dibujos a modo de ocelos de tonos más oscuros. Escamas dorsales lisas, en número de 21 a mitad del cuerpo. Vientre amarillento, crema, grisáceo o más a menudo blanquecino y siempre decorado por dibujos cuadrados alineados paralelamente.

Tallas normales entre 300 y 350 mm. Raramente alcanza los 500 mm de longitud total. Hembras mayores. Reproducción ovípara, entre 2 y 6 huevos. Incubación entre 49 y 63 días, miden al nacer entre 152 y 166 mm de longitud total. Costumbres crepusculares y nocturnas. Se alimenta exclusivamente de saurios. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante.

Zamenis scalaris (Schinz, 1822) - Culebra de escalera

Culebra robusta, fuerte y gruesa, de cabeza pequeña y cola corta. Hocico prominente, ojos de pupila circular y de color negro, mientras que el iris es amarillento y moteado de oscuro. Mientras que los grandes ejemplares no presentan dibujo alguno en la cabeza o si lo tienen está muy difuminado, los jóvenes tienen un dibujo de color negro en forma de “V” invertida. Los ejemplares adultos presentan, sobre un fondo amarillento o pardo-amarillento, dos anchas líneas paralelas, por lo general de color negro, que le recorren el dorso. Los jóvenes en cambio presentan sobre un fondo gris o amarillento un diseño a modo de escalera que le recorre el dorso; dicho diseño, va desapareciendo con la edad del individuo hasta quedar reducido a las dos franjas oscuras y paralelas propias de los adultos. Es una culebra aglifa, es decir carece de dientes venenosos. Escamas dorsales lisas, en número de 27 a mitad del cuerpo. Vientre de color amarillento, blanco-amarillento o blanco-sucio, sin dibujo alguno. Juveniles con el vientre de color grisáceo y muy decorado de oscuro.

Tallas normales entre 1.000 y 1.300 mm. Raramente alcanza los 1.700 mm de longitud total. Las hembras son las que alcanza las tallas mayores. Reproducción ovípara, entre 4 y 13 huevos. Incubación entre 52 y 62 días, miden al nacer entre 276 y 379 mm de longitud total. Costumbres diurnas. Se alimenta básicamente de aves y pequeños mamíferos, como roedores y conejos de pequeño tamaño. Presente en toda la provincia. Especie común y abundante.

FAMILIA | ***Natricidae*** (culebras acuáticas)

Natrix astreptophora (Seoane, 1884) - Culebra de collar ibérica

Culebra acuática muy robusta y de gran tamaño. Cabeza bien diferenciada del cuerpo, de morro obtuso y nasal dividida. Ojos de pupila circular y de color negro, iris rojizo o anaranjado, sombreado de negro por la parte anterior. Tras la cabeza los individuos juveniles presentan un típico dibujo a modo de collar de color blanco, crema o amarillento, ribeteado de negro. Este collar desaparece o queda muy difuminado en los grandes ejemplares. Es una culebra aglifa, es decir carece de dientes venenosos Color de fondo verde, gris metalizado o pardo-oliváceo, poco o muy moteado de manchas dispersas de tonos más oscuros. Escamas dorsales muy carenadas, en número de 19 a mitad del cuerpo. Vientre de color verdoso o grisáceo, decorado con grandes dibujos de forma cuadrangular y color negro.

Tallas normales entre 700 y 950 mm. Raramente alcanza los 1.500 mm de longitud total. Hembras mayores. Reproducción ovípara, entre 6 y 28 huevos. Incubación entre 42 y 71 días, miden al nacer entre 145 y 214 mm de longitud total. Costumbres diurnas. Ágil nadadora y experta buceadora. Al ser molestada finge estar muerta entreabriendo la boca y permaneciendo quieta, otras veces opta por expulsar el contenido nauseabundo y maloliente de su cloaca refregándolo por la mano de quien la importuna. Se alimenta de peces y de toda clase de anfibios y sus larvas. Vive en o cerca de las zonas acuáticas, aunque no es raro toparnos con ella en los lugares más insospechados. Presente en toda la provincia. Especie poco común y relativamente abundante.

Natrix maura (Linnaeus, 1758) - Culebra viperina

Culebra acuática de mediano tamaño, totalmente inofensiva y que muy a menudo es confundida con la víbora debido a la postura que adopta para defenderse y al diseño en zig-zag del dorso. Cabeza bien diferenciada del cuerpo, ancha y de morro redondeado. Ojos alojados en un plano más alto que la mayoría de los ofidios, pupila circular y de color negro, iris dorado o amarillento circundado de negro. Sobre la cabeza suele presentar dos dibujos en forma de “V” de color oscuro, que a menudo se unen a la altura de la escama frontal. Es una culebra aglifa, es decir carece de dientes venenosos. Tanto el diseño como la coloración son muy variables, pudiéndose encontrar tonos grisáceos, marrones, pardo-grisáceos, e incluso rojizos, pero la mayoría de las veces con el dorso decorado por un diseño de color más oscuro en forma de zig- zag. No son raros los ejemplares muy oscuros o los que presentan dos franjas más claras a ambos lados del dorso (forma bilineata). Vientre blanquecino, amarillento, crema, anaranjado o rojizo, pero siempre decorado por dibujos cuadrangulares de color negro o marrón. Escamas dorsales muy carenadas, generalmente en número de 21 a mitad del cuerpo. Tallas normales entre 450 y 550 mm. Raramente alcanza los 800 mm de longitud total. Hembras con tallas mayores. Reproducción ovípara, entre 5 y 17 huevos. Incubación entre 40 y 70 días, miden al nacer entre 128 y 208 mm de longitud total. Costumbres

eminentemente diurnas y muy acuáticas. Trepa perfectamente por arbustos y rocas, se la suele ver en las orillas de las zonas acuáticas donde demuestra ser una experta nadadora y una muy hábil buceadora. Al ser capturada vomita la última presa que haya engullido, a la vez que expulsa el contenido nauseabundo y maloliente de su cloaca, refregándolo por la mano o brazo de quien la importuna. Se alimenta de peces y todo tipo de anfibios y sus larvas. Presente en toda la provincia. Especie muy común y abundante.

FAMILIA | *Psammophiidae* (culebras bastardas y afines)

Malpolon monspessulanus (Hermann, 1804) - Culebra bastarda

Culebra robusta, de cuerpo muy alargado y capaz de alcanzar tallas enormes. La cabeza es pequeña con respecto al cuerpo, estrecha y con una depresión en la zona media de la escama frontal. Los ojos son grandes, de pupila circular y de color negro, mientras que el iris es amarillento o dorado, muy moteado de pardo o rojizo. Las escamas supraoculares sobresalen de la cabeza y le dan a esta culebra una expresión penetrante y de pocos amigos. Es una culebra opistoglífa, es decir presenta un par de dientes acanalados, y de diferente tamaño al de los demás, que se alojan en la parte posterior del maxilar superior, dichos dientes están en comunicación con glándulas venenosas que, aunque no surten gran efecto sobre el hombre, si le valen para dar muerte, o al menos dejar paralizadas a sus presas antes de engullirlas. La coloración y el diseño son muy variables, aparecen individuos grisáceos, parduzcos, verdosos, marronáceos y hasta, a veces, rojizos, poco o muy moteados de negro o salpicados abundantemente por pinceladas de color negro, amarillo, blanco, marrón y rojo. Esta última coloración es la propia de individuos juveniles y de las hembras. Los machos adultos presentan sobre un fondo verdoso o marronáceo una ancha franja de color negro en la zona anterior del cuerpo. Escamas dorsales en número de 19 en mitad del cuerpo, lisas, excepto las que ocupan la parte superior que muy a menudo presentan una acanaladura o depresión hacia el interior.

Aunque se citan ejemplares de hasta 2.500 mm de longitud total, raros son los que alcanzan los 2 metros, tallas normales entre 1.000 y 1.600 mm. Machos tallas mayores. Reproducción ovípara, entre 5 y 14. Incubación entre 36 y 52 días, miden al nacer entre 252 y 326 mm. Costumbres eminentemente diurnas, muy ágil, rápida y escurridiza. Es muy generalista en la alimentación y, aunque su espectro alimenticio varía según la edad del individuo, es muy amplio. De tal forma, se alimenta de invertebrados, anfibios, saurios, roedores, aves, colúbridos de hasta su propio tamaño, grandes lagartos, gazapos de conejo, pollos e incluso gatos pequeños. Presente en toda la provincia, especie muy común y abundante.

FAMILIA | *Viperidae* (víboras)

Vipera latastei (Boscá, 1878) - Víbora hocicuda

Ofidio de cuerpo corto y grueso. Cabeza bien diferenciada del cuerpo, ancha, triangular y terminada en un característico y prominente hocico algo curvado hacia atrás. Escamas de la cabeza de peque-

ño tamaño, a excepción de grandes y sobresalientes supraoculares que, al igual que ocurre con la culebra bastarda (*M. monspessulanus*), confieren a la cara de la especie una expresión penetrante y de pocos amigos. Los ojos tienen la pupila vertical de color negro, iris amarillento. Sobre la cabeza pueden aparecer dos manchas oscuras y una línea blanquecina adornando las supralabiales. La dentición es del tipo solenoglífo, es decir posee un par de dientes huecos en la parte anterior del maxilar superior, que están en contacto con glándulas capaces de segregar un veneno que puede llegar a ser mortal para el hombre. Dichos dientes están normalmente replegados sobre el paladar, actuando como un resorte accionado por la musculatura cuando el individuo abre la boca. Sobre un fondo gris, pardo, rojizo o, más a menudo, el que contenga todos los tonos imaginables dentro del color marrón, aparece una franja oscura ribeteada de negro a modo de zig-zag o de rosario, que se extiende desde la nuca hasta el final de la cola. Vientre crema, gris, rojizo, blanquecino o pardo, poco o muy moteado de oscuro. Escamas dorsales fuertemente carenadas, en número de 21 en mitad del cuerpo.

Tallas normales entre 250 y 500 mm. Raramente alcanza los 700 mm de longitud total. Los machos son los que alcanzan las tallas mayores. Reproducción ovovivípara, entre los meses de julio y septiembre nacen entre 1 y 11 crías con unas medidas de entre 164 y 207 mm de longitud total. Costumbres en general diurnas, pero durante los meses de mayor insolación son activas al atardecer e incluso la noche. Se alimenta de pequeños saurios, pollos de aves pequeñas y de roedores. Presente en la mayor parte de la provincia. Especie poco común y cada vez más rara.

LÁMINA 08-8

OFIDIOS DE LA PROVINCIA DE HUELVA

A: Culebra lisa meridional *(Coronella girondica)*

B: Culebra de herradura *(Hemorrhois hippocrepis)*

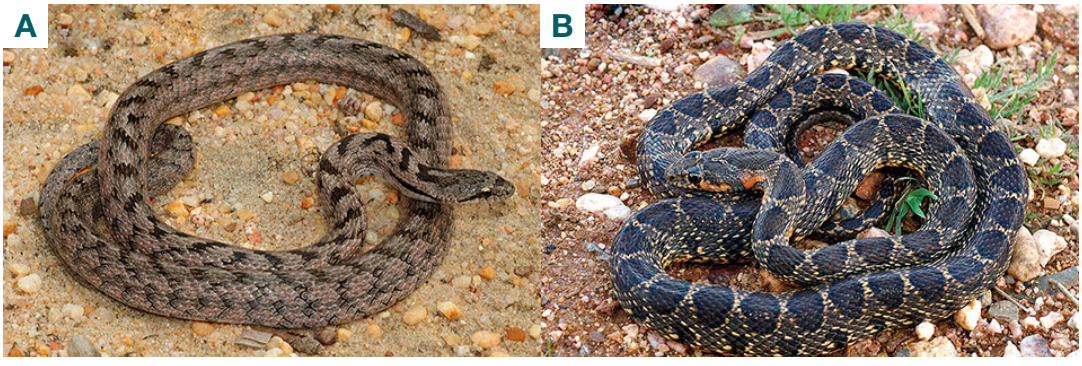


LÁMINA
08-9

OFIDIOS DE LA PROVINCIA DE HUELVA

A: Culebra de cogulla occidental *(Macroprotodon brevis)*

B: Culebra de escalera *(Zamenis scalaris)*

C: Culebra de collar ibérica *(Natrix astreptophora)*

D: Culebra viperina *(Natrix maura)*

E: Culebra bastarda *(Malpolon monspessulanus)*

F: Víbora hocicuda *(Vipera latastei)*



[2]
Bibliografía

García-París, M.; Montori, A.; Herrero, F. (2004). *Amphibia. Lisamphibia*. En: Fauna Ibérica, 24. RAMOS, M. A. *et al.* (eds). Mus. Nac. Cien. Nat. CSIC, Madrid. 640 pp.

González de la Vega, J.P. (1988). *Anfibios y reptiles de la provincia de Huelva*. Ertisa, Huelva. 238 pp.

González de la Vega, J.P. (1989a). *Anfibios y reptiles de la provincia de Huelva*. Edición del autor, Huelva. 238 pp.

González de la Vega, J.P. (1989b). *Estudio sobre los ofidios (culebras y víboras) que pueblan la geografía onubense*. Huelva 79 municipios 8: 43-46.

González de la Vega, J.P. (1989c). *Tortugas y galápagos que pueblan la geografía onubense*. Huelva 79 municipios 9: 13-18.

González de la Vega, J.P. (1990). *Salamanquesas que pueblan la geografía onubense.* Huelva 79 municipios 11: 16-21.

González de la Vega, J.P. (1991). *El camaleón o el arte de ver sin ser visto y comer sin ser comido.* Huelva 79 municipios 14: 13-17.

González de la Vega, J.P. (2004). *Datos sobre la reproducción en condiciones naturales de la tortuga de Florida (Trachemys scripta elegans) y de la tortuga china de caparazón blando (Pelodiscus sinensis) en la provincia de Huelva (Andalucía, España), así como un caso de nidificación en libertad de Trachemys scripta elegans en la provincia de Córdoba (Andalucía, España). VIII Congreso Luso-Español, XII Congreso Español de Herpetología*. Málaga.

González de la Vega, J.P.; Barnestein, J.A.M.; Donaire-Barroso, D.; Fraile Molina, A. *Atlas Herpetológico de Andalucía*. Accesible en: http://anfibios-reptiles-andalucia.org Consulta realizada el 12 de enero 2022.

González de la Vega, J.P.; Barnestein, J.A.M.; Pérez-Quintero, J.C. (2000). *La reproducción de los saurios ovíparos de Andalucía (España): patrones biométricos, estacionalidad y comportamiento*. *VI Congreso Luso-Español, X Congreso Español de Herpetología*. Valencia.

González de la Vega, J.P.; Pérez-Quintero, J.C.; Pleguezuelos, J.M. (2001a). *Camaleón común, pp. 68-69*. En: Consejería de Medio Ambiente (ed.), *Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía*, Junta de Andalucía, Sevilla.

González de la Vega, J.P.; Pérez-Quintero, J.C.; Pleguezuelos, J.M. (2001b). *Lagartija de Valverde, pp. 71*. En: Consejería de Medio Ambiente (ed.), *Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía*, Junta de Andalucía, Sevilla.

González de la Vega, J.P.; Pérez-Quintero, J.C. (1996). *La reproducción de los ofidios ovíparos de Andalucía Occidental (España): patrones biométricos, estacionalidad y comportamiento*. IV Congreso Luso-Español, VIII Congreso Español de Herpetología. Porto.

González de la Vega, J.P.; Pérez-Quintero, J.C. (2001a). *Lagarto verdinegro, pp. 70*. En: Consejería de Medio Ambiente (ed), *Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía*, Junta de Andalucía, Sevilla.

González de la Vega, J.P.; Pérez-Quintero, J.C. (2001b). *Ranita de San Antonio, pp. 43.* En: Consejería de Medio Ambiente (ed.), *Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía*, Junta de Andalucía, Sevilla.

González de la Vega, J.P.; Pérez-Quintero, J.C. (2001c). Salamandra común, pp. 39. En: Consejería de Medio Ambiente (ed.), *Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía*, Junta de Andalucía, Sevilla.

González de la Vega, J.P.; Pérez-Quintero, J.C. (2001d). *Sapo partero bético, pp. 42.* En: Consejería de Medio Ambiente (ed.), *Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía*, Junta de Andalucía, Sevilla.

González de la Vega, J.P.; Pérez-Quintero, J.C. (2001e). *Tritón ibérico, pp. 40.* En: Consejería de Medio Ambiente (ed.), *Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía*, Junta de Andalucía, Sevilla.

Pérez-Quintero, J.C. (1987). *Ecología del eslizón tridáctilo (Chalcides chalcides) en las Marismas del Odiel*. Tesis de licenciatura. Universidad de Sevilla. 400 pp.

Pérez-Quintero, J.C. (1988a). *Distribución de la herpetofauna de la provincia de Huelva.* Comunicación presentada al III Congreso Nacional de Herpetología. Caldas de Reis.

Pérez-Quintero, J.C. (1988b). *Biometría y reproducción del eslizón tridáctilo, Chalcides chalcides striatus (Cuvier), en las Marismas del Odiel (Huelva)*. Rev. Esp. Herp., 3: 15-27.

Pérez-Quintero, J.C. (1988c). *Actividad del eslizón tridáctilo (Chalcides chalcides) en las marismas del Odiel*. Rev. Esp. Herp., 3(2): 173-182.

Pérez-Quintero, J.C. (1990). *Atlas provisional de los Anfibios y Reptiles de la provincia de Huelva*. Rev. Esp. Herp., 4: 17-31.

Pérez-Quintero, J.C. (1995). *Ecología de tres especies mediterráneas de lacertidae (Acanthodactylus erythrurus (SCHINZ), Psammodromus algirus (L) y Psammodromus hispanicus FITZINGER) en el litoral de la provincia de Huelva*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla. 400 pp.

Pérez-Quintero, J.C. (1996). *Reproductive characteristics of three Mediterranean lizards: Psammodromus algirus (L), Psammodromus hispanicus Fitzinger and Acanthodactylus erythrurus (Schinz).* Amphibia-Reptilia, 17: 197-208.

Pérez-Quintero, J.C. (2001). *Thermal biology and activity cycles of two sympatric Psammodromus species.* En: *Mediterranean basin lacertid lizards, a biological approach* (L. Vicente y E.G. Crespo, eds.): 79-86.

Pérez-Quintero, J.C.; Rubio-García, J.C. (1987). *Alimentación del eslizón tridáctilo (Chalcides chalcides) en el Paraje Natural de las Marismas del Odiel (Huelva).* Oxyura, 4: 101-121.

Pérez-Quintero, J.C.; Rubio-García, J.C. (1997). *Alimentación de la lagartija colilarga, Psammodromus algirus (L) (Sauria, Lacertidae) en el litoral de Huelva (SO de España)*. Doñana, Acta Vertebrata, 24: 3-26.

Pleguezuelos, J.M.; González de la Vega, J.P.; Pérez-Quintero, J.C. (2001). *Culebra de collar. Natrix natrix. (Linnaeus, 1758)*. En *Libro rojo de los vertebrados amenazados de Andalucía*. Franco, A. y Rodríguez, M. (Eds). Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla: 74.

Pleguezuelos, J.M.; Márquez, R.; Lizana, M. (eds) (2002). *Atlas y libro rojo de los anfibios y reptiles de España*. Dir. Gen. Cons. Nat., Asoc. Herpetol. Esp., Madrid. 584 pp.

Salvador, A. (coordinador) (2014). *Reptiles, 2ª edición revisada y aumentada.* En*: Fauna Ibérica*, vol. 10. Ramos, M. A. *et al.* (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. Madrid. 1372 pp.

Tejedo, M.; Reques, R.; Gasent, J.M.; González de la Vega, J.P.; Barnestein, J.A.M.; García-Cardenete, L.; González-Miras, E.; Donaire- Barroso, D.; Sanchez-Herráiz, M.J.; Marangoni, F. (2003). *Distribución de los anfibios endémicos de Andalucía: Estudio genético y conservación de sus poblaciones*. Consejería de Medio Ambiente - C.S.I.C. 173 pp.



09

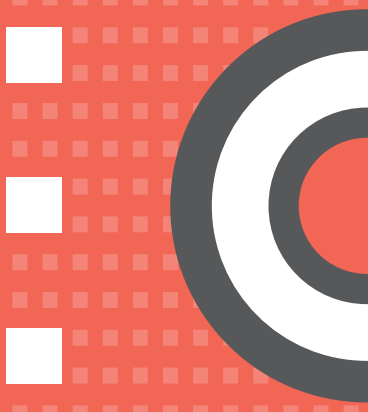
Ictiofauna continental onubense

José Prenda *

Área de Zoología. Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España.

* Corresponding author | Dr. José Prenda | jprenda@uhu.es

Tel.: +34 959 21 98 88 | Fax: +34 959 21 94 67



Ictiofauna continental onubense

José Prenda

RESUMEN

Los peces continentales son los vertebrados más diversos y los más amenazados. El conocimiento de sus patrones de distribución y de su estatus se hace imprescindible en la medida en que se aceleran los cambios ambientales que los están llevando a la extinción. A principios del S XXI, el grupo de investigación "Biología de las Aguas Epicontinentales (RNM-324)" llevó a cabo diferentes muestreos de peces en la provincia onubense que incluyeron la práctica totalidad de las cuencas que la drenan. Estos trabajos han permitido establecer una línea base cuantitativa de este grupo de vertebrados acuáticos que es lo que se presenta en este capítulo. En total se aporta información sobre 96 localidades continentales, la mayoría fluviales, en las que se han registrado 38 especies de peces, de las que 18 son de distribución primaria, es decir, estrictamente continentales. Esta extraordinaria ictiofauna, en la que destaca sobremanera el jarabugo *(Anaecypris hispanica)* está expuesta a un grave riesgo de extinción, como se puede comprobar a partir de las extinciones locales registradas en este trabajo. De aquí se deduce que se deben redoblar los esfuerzos de protección de los hábitats acuáticos, especialmente en lo concerniente a la disponibilidad de agua, a su calidad y a la penetración de especies exóticas de carácter invasor, cada vez más extendidas por esta provincia.

PALABRAS CLAVE

Biodiversidad acuática, peces continentales, biogeografía, conservación fluvial, Río Guadiana.



[1]
Introducción

Los peces continentales, es decir aquellos que pasan la totalidad o una parte esencial de su vida en aguas no marinas, –en ríos, lagunas o estuarios–, constituyen el grupo de vertebrados más diverso del planeta. A algunos esto les puede sorprender, pero hay descritas más de 15.000 especies -el 25% de todos los vertebrados-, muchas más que de anfibios, reptiles, aves o mamíferos (IUCN, 2015). Y esta enorme variedad de seres habita apenas el 0,3% de todo el agua disponible, que es el que corresponde a las aguas superficiales continentales. Es decir, la densidad de especies ícticas por unidad de volumen de hábitat carece de parangón entre todos los vertebrados. Ello es consecuencia directa del grado de aislamiento al que se hallan sometidos los peces en estos medios insulares y a la presión evolutiva ejercida sobre ellos por unas condiciones ambientales muy heterogéneas, difíciles y variables, especialmente los peces del área mediterránea. Si pensamos en la provincia de Huelva podemos apreciar algunas de estas circunstancias: 1) está drenada por cuatro cuencas principales medianas o grandes (Guadalquivir, Tinto, Odiel y Guadiana) totalmente aisladas unas de otras desde tiempo inmemorial, 2) carece de lagos verdaderos y solo posee algunas lagunas litorales de escasas dimensiones, igualmente aisladas, 3) las condiciones ecológicas son muy diversas, si las comparamos por ejemplo, con las marinas u oceánicas -cada cuenca posee características propias, tanto relativas a la físico-química del agua, como a su estructura. Además, este territorio posee singularidades ecológicas exclusivas, como cuencas con fragmentación interna longitudinal, un fenómeno único a escala planetaria. Lo normal es que en los cursos de agua existan barreras transversales que aíslan subcuencas dentro de una cuenca, bien dependientes de la acción humana (presas y otros obstáculos similares) o independientes de ella (saltos de agua, cascadas, etc.). El río Tinto en sí mismo, sus valores extremos de pH, actúa como una original barrera longitudinal infranqueable que impide el flujo de vida macroscópica acuática entre subcuencas dentro de la misma cuenca (Nieto *et al.*, 2007).

No solo los peces continentales atesoran la mayor biodiversidad entre los vertebrados, también son el grupo más amenazado de extinción (Closs *et al.*, 2015). Por varias razones. Por habitar uno de los medios más frágiles y a la vez más perturbados por la acción humana directa e indirecta: las aguas superficiales interiores (Prenda *et al.*, 2006). Pero también por su elevado grado de endemicidad y su distribución restringida en hábitats de escasísimo volumen en comparación con otros grupos animales. Los ríos, hábitat esencial de los peces continentales son, a la vez, vehículo para la evacuación generalizada de los subproductos del descomunal metabolismo de las sociedades humanas y el medio imprescindible para el suministro de agua y energía renovable y limpia a estas mismas sociedades. Sobre ellos recae el doble papel ancestral de víctimas e impulsores de nuestro desarrollo. Por los vertidos de aguas residuales, el enriquecimiento generalizado en nutrientes, las modificaciones de sus cauces y riberas y por su ubicuo represado, el hábitat fluvial ha sido transformado adrede. Con el aderezo igualmente consciente de nuevas especies, peces exóticos que medran vorazmente al amparo de las nativas más sosegadas, a un ritmo mucho mayor del asumible por estos vertebrados acuáticos, que los está llevando aceleradamente a la extinción. También en Huelva. El territorio onubense no es ajeno, ni mucho menos, a este desastre impulsado por la humanidad más excelsa (Prenda *et al.*, 2010).

Por ello es tan importante dejar siempre que sea posible un registro fidedigno de la distribución pretérita de los peces que bien podría incluso ser marco de referencia para cualquier actuación futura, bien motivo de lamentaciones por nuestra desidia.

Pero el interés del territorio onubense para los peces no termina en la excepcional cuenca del Tinto, sino que se extiende a las particularidades del resto de su red de drenaje, única por su heterogeneidad, al menos en un contexto andaluz. Las cuencas serranas, más o menos equitativamente distribuidas entre Guadiana, Guadalquivir y Odiel, poseen elevados valores de conservación y una biodiversidad acuática singular y muy amenazada. El bajo Guadiana, el río frontera, es uno de los tramos bajos de los grandes ejes fluviales ibéricos mejor conservados, sino el mejor. La cuenca del Odiel posee una problemática grave asociada a los drenajes ácidos de minas que está afectando al conjunto de cursos de agua que la conforman, desde su mismo nacimiento. Finalmente, existe una serie de pequeñas cuencas litorales, entre las que destacan la del Carreras y la del Piedras, donde en estos momentos la estrella es una especie al borde la extinción: la anguila.

En este capítulo vamos a ofrecer una visión general de los peces continentales, en sentido amplio, en la provincia de Huelva, sobre su distribución y sobre su estado o valor de conservación con información original recabada entre los años 2000 y 2010, aproximadamente. Esta foto fija de un componente esencial de la biodiversidad acuática pretende resumir parte de la actividad del grupo de investigación de la Universidad de Huelva “Biología de las Aguas Epicontinentales” y también busca marcar una línea base cuantitativa en la que poder apoyarse en futuras investigaciones sobre los peces en esta provincia que sirva para dilucidar sobre su retroceso o sobre su recuperación. Ojalá sobre lo último.

[2]
Peces de Huelva

En los trabajos realizados por el grupo de investigación “Biología de las Aguas Epicontinentales” en la provincia onubense se muestrearon entre los años 2000 y 2012 un total de 98 localidades distribuidas en seis cuencas hidrográficas (Guadiana, Carreras, Odiel, Piedras, Tinto y Guadalquivir) que se corresponden con 54 masas de agua diferentes [TABLA 9-1, FIGURA 9-1]: 41 cursos de agua, ocho caños y esteros, cuatro lagunas y un embalse. En este conjunto de localidades se registraron 38 especies de peces, 29 nativas y nueve exóticas [TABLA 9-2]. De las nativas, solo 10 fueron de distribución primaria, esto es, que completan su ciclo de vida enteramente en aguas continentales y no toleran la salinidad del mar. Serían, por ejemplo, los ciprínidos. Otras ocho fueron nativas de distribución secundaria, es decir, que soportan amplios rangos variación en la concentración salina, lo que les permite la utilización durante una parte de su vida del medio litoral o incluso marino, como son los mugílidos -lisas- o la anguila. Por último, se registraron 11 especies de distribución periférica -especies básicamente marinas, que ocasionalmente pueden penetrar en las aguas continentales- o directamente marinas. Entre las nueve especies foráneas, ocho fueron de distribución primaria y una secundaria [TABLA 9-2].

TABLA 09-1

Localidades de la provincia de Huelva en las que se ha llevado a cabo el estudio de su ictiofauna por parte del grupo de investigación de la Universidad de Huelva "Biología de las Aguas Epicontinentales" entre los años 2000 y 2012. Se indican para cada localidad sus coordenadas UTM.

Fecha	cuenca	cod.	masa de agua	Huso	Lat x	Long y
2000/2001	Guadiana-Sierra	GDCh1	río Chanza	29S	657089	4202104
		GDCh3	río Chanza	29S	680932	4204060
		GDCh4	Rivera de Alcalaboza	29S	658650	4198166
		GDCh5	Rivera de Alcalaboza	29S	674757	4196779
		GDM1	río Múrtigas	29S	682301	4222518
		GDM2	río Sillo	29S	688201	4218988
		GDM3	río Sillo	29S	702615	4219399
		GDM4	río Múrtigas	29S	693020	4211680
		GDM5	río Frío	29S	698172	4209258
		GDM6	río Múrtigas	29S	697783	4207113
		GDM7	río Múrtigas	29S	698318	4204042
2003	Odiel	VIL	Rivera del Villar	29S	699921	4173391
		PAL	Rivera de Palanco	29S	702783	4170120
		ESC	Rivera de La Escalada	29S	698303	4184538
		SEU	Rivera de Santa Eulalia	29S	705442	4186968
		ODI	río Odiel	29S	713632	4186401
		TAL	Rivera de Tallisca	29S	686082	4171003
		CHA	Arroyo Chapinero	29S	674228	4167528
		MDO	Arroyo Monte de la Osa	29S	673683	4165675
		OLI	Rivera de Olivargas	29S	692267	4184683
		AL	Rivera de Almonaster	29S	693271	4192226

Fecha	cuenca	cod.	masa de agua	Huso	Lat x	Long y
2000/2001	Tinto	JAR	río Jarrama	29S	718392	4171467
		CAC	Rivera de Cachán	29S	715796	4166994
		GAL	Arroyo Gallego	29S	718339	4166352
		HOR	Rivera del Hornueco	29S	716520	4162661
		MAN	Arroyo Manzano	29S	713919	4162316
		VAL	Rivera de Valverde	29S	705351	4158626
		COR	río Corumbel	29S	730118	4155548
		CAN	Arroyo Candón	29S	700214	4139633
		NIC	Rivera de la Nicoba	29S	688990	4139509
		DRU	Estero de Domingo Rubio	29S	687720	4119769
2004	Guadiana-Bajo	G1	río Guadiana	29S	631556	4154076
		G2	río Guadiana	29S	633343	4152627
		G3	río Guadiana	29S	635047	4150711
		G4	río Guadiana	29S	636527	4145869
		G5	río Guadiana	29S	637668	4140090
		G6	río Guadiana	29S	638441	4135768
		G7	río Guadiana	29S	638730	4128460
		G8	río Guadiana	29S	639937	4126223
		GD1	río Guadiana	29S	640637	4121387
		GD2	río Guadiana	29S	640663	4120974
		GD3	río Guadiana	29S	640806	4120556
		GD4	río Guadiana	29S	640768	4120010
		GD5	río Guadiana	29S	640883	4119166

Fecha	cuenca	cod.	masa de agua	Huso	Lat x	Long y
2004	Guadiana-Bajo	GD6	río Guadiana	29S	640857	4118562
		GD7	río Guadiana	29S	641102	4118104
		GD8	río Guadiana	29S	641164	4117520
		GD9	río Guadiana	29S	641304	4116641
		RGS1	Rivera Grande de Sanlúcar	29S	640509	4153830
		RGS2	Rivera Grande de Sanlúcar	29S	644764	4152426
		RGS3	Rivera Grande de Sanlúcar	29S	640199	4150934
		RGS4	Rivera Grande de Sanlúcar	29S	638602	4149668
		RGS5	Rivera Grande de Sanlúcar	29S	641477	4149469
		RGS6	Rivera Grande de Sanlúcar	29S	639352	4148786
		RGS7	Rivera Grande de Sanlúcar	29S	637089	4147069
		RBL1	Rivera de Barcialonga	29S	640395	4138752
		RGA1	Rivera Grande de Ayamonte	29S	646746	4132571
		RGA2	Rivera Grande de Ayamonte	29S	644467	4131680
		RGA3	Rivera Grande de Ayamonte	29S	642175	4129507
2012	Guadiana-Litoral	1001	Estero de San Bruno	29S	644066	4116256
		1002	Arroyo Pedraza	29S	640589	4124127
		1003	Arroyo Grande	29S	640350	4127967
		1005	río Guadiana	29S	638582	4130098
		1006	Arroyo de Barcia Longa	29S	639734	4138401
		1007	río Guadiana	29S	636513	4142043
		1008	Rivera Grande de la Golondrina	29S	637087	4147116
		1009	Rivera Grande de la Golondrina	29S	640366	4151263
		1010	río Guadiana	29S	633135	4154292

Fecha	cuenca	cod.	masa de agua	Huso	Lat x	Long y
2012	Carreras	2011	río Carreras - Caños del Carreras	29S	647187	4117990
		2012	río Carreras	29S	651661	4119676
		2014	Caños de la Cruz - Carreras	29S	644632	4119360
2012	Piedras	3015	Arroyo del Fraile	29S	662194	4120413
		3016	Estero del Carbón	29S	664588	4123910
		3017	río Piedras	29S	662778	4122933
		3018	Cañada de los Hornos - Caño de la Rivera	29S	663089	4126703
		3019	Arroyo Tariquejo	29S	661937	4132255
		3020	río Piedras	29S	660803	4129742
2012	Odiel-Litoral	4021	Caño de la Bota	29S	679459	4120207
		4022	Odiel - Calatilla de Bacuta	29S	680247	4124891
		4023	Estero de Cajavias	29S	677746	4123006
		4024	río de Aljaraque	29S	677740	4127338
		4025	río Odiel	29S	678916	4133294
		4026	río Odiel	29S	679159	4137998
2012	Tinto-Litoral	5027	Estero Domingo Rubio	29S	686569	4119485
		5028	Arroyo de la Dehesa del Estero	29S	688090	4120065
		5029	río Tinto	29S	684574	4119212
		5030	Rivera de la Nicoba	29S	685177	4131839
		5031	Arroyo del Puerco	29S	683965	4138075
		5032	Rivera de la Nicoba	29S	686806	4130153
		5033	río Tinto	29S	693055	4131807

Fecha	cuenca	cod.	masa de agua	Huso	Lat x	Long y
2007/2008	Guadalquivir	ACE	Laguna del Acebuche	29S	716838	4102944
		LSO	Laguna de Santa Olalla	29S	724329	4095412
		LDU	Laguna Dulce	29S	723822	4095469
		RH1	Rivera de Huelva	29S	708794	4203042
		RH2	Rivera de Huelva	29S	728842	4195380
		RCA	Rivera del Cala	29S	747481	4201805
		EA1	Embalse de Aracena	29S	724691	4199220
		EA2	Embalse de Aracena	29S	721531	4201335

FIGURA 09-1

Mapa de distribución de las localidades en las que se llevó a cabo el estudio de los peces en la provincia de Huelva por parte del grupo de investigación de la Universidad de Huelva “Biología de las Aguas Epicontinentales” entre los años 2000 y 2012.

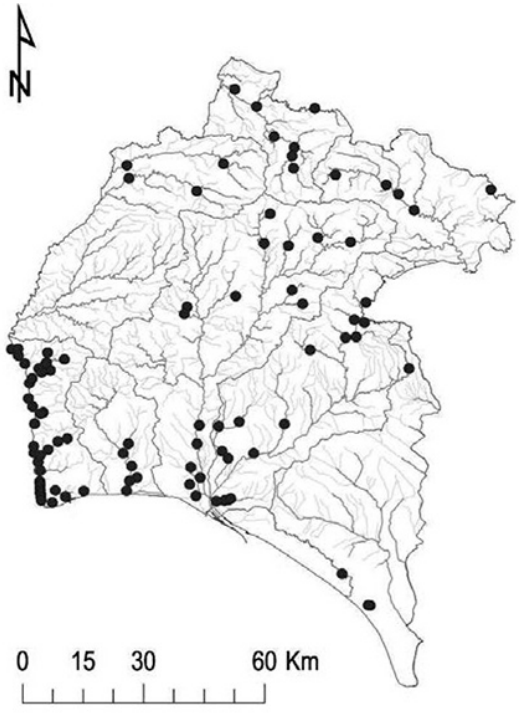


TABLA 09-2

Listado de las especies de peces registradas en la provincia de Huelva entre los años 2000 y 2010 por el grupo de investigación de la Universidad de Huelva "Biología de las Aguas Epicontinentales."
Distribución (Dist.): 1) primaria, 2) secundaria, 3) periférica (según Berra, 2001).

NATIVAS

Dist.	Orden	Familia	Especie	Nombre común	CÓD.
1	Cypriniformes	Cyprinidae	*Anaecypris hispanica*	jarabugo	AHÍ
			Iberochondrostoma lemmingii	pardilla	ILE
			Iberocypris a lburnoides	calandino	SAL
			Luciobarbus comizo	barbo picón	LCO
			Luciobarbus microcephalus	barbo cabecicorto	LMI
			Luciobarbus sclateri	barbo	LSC
			Pseudochondrostoma willkommii	boga	PWI
			Squalius pyrenaicus	cachuelo	SPY
		Cobitidae	*Cobitis paludica*	colmilleja	CPA
	Perciformes	Blenniidae	*Salaria fluviatilis*	blenio	SFL
2	Petromyzontiformes	Petromyzontidae	*Petromyzon marinus*	lamprea	PMA
	Anguilliformes	Anguillidae	*Anguilla anguilla*	anguila	AAN
	Clupeiformes	Clupeidae	*Alosa fallax*	saboga	AFA
	Mugiliformes	Mugilidae	*Chelon labrosus*	lisa	CLA
			Liza aurata	lisa	LAU
			Liza ramada	lisa	LRA
			Mugil cephalus	lisa	MCE
	Atheriniformes	Atherinidae	*Atherina boyeri*	pejerrey	ABO
	Syngnathiformes	Syngnathidae	*Syngnathus abaster*	aguja de mar	SAB
3	Clupeiformes	Engraulidae	*Engraulis encrasicolus*	boquerón	EEN
	Batrachoidiformes	Batrachoididae	*Halobatrachus didactylus*	pez sapo	HDI
	Syngnathiformes	Syngnathidae	*Hippocampus hippocampus*	caballito de mar	HHI
	Perciformes	Esparidae	*Diplodus sargus*	sargo	DSA
			Diplodus vulgaris	sargo	DVU
		Gobiidae	*Pomatoschistus microps*	gobio	PMI
		Labridae	*Symphodus bailloni*	bodión	SBA
		Moronidae	*Dicentrarchus labrax*	lubina	DLA
			Dicentrarchus punctatus	baila	DPU
	Pleuronectiformes	Soleidae	*Solea vulgaris*	lenguado	SVU

EXÓTICAS

Dist.	Orden	Familia	Especie	Nombre común	CÓD.
1	Cypriniformes	Cyprinidae	*Alburnus alburnus*	alburno	AAL
			Carassius auratus	carpín	CAU
			Cyprinus carpio	carpa	CCA
	Siluriformes	Ictaluridae	*Ameiurus melas*	pez gato	AME
	Cyprinodontiformes	Poeciliidae	*Gambusia holbrooki*	gambusia	GHO
	Perciformes	Centrarchidae	*Lepomis gibbosus*	pez sol	LGI
			Micropterus salmoides	blacbás	MSA
		Cichlidae	*Australoheros facetus*	chanchito	AFA
2	Cyprinodontiformes	Fundulidae	*Fundulus heteroclitus*	fúndulo	FHE

[3]
La cuenca del Guadiana en la sierra

Dos ríos principales pertenecientes a la cuenca del Guadiana, drenan la Sierra de Huelva, el Múrtigas, afluente a su vez del Ardila, y el Chanza. Ambos fueron estudiados mediante pesca eléctrica y redes holandesas, entre los años 2000 y 2010 en 11 localidades excepcionales (De Diego *et al.*, 2010) en las que se registró una ictiofauna igualmente excepcional. Hasta diez especies de peces nativas habitaban estos singulares ríos (TABLA 9-3], primarias las primarias de la provincia, sin incluir ni una sola migradora. También, cuando se realizaron estos estudios se detectaron cuatro especies de peces exóticos invasores [TABLA 9-2], aunque su penetración en aquellas fechas no era aún excesiva, con presencia relativamente escasa en cinco de las 11 localidades muestreadas.

Nueve de las diez especies nativas pertenecieron al orden de los Cipriniformes: ocho ciprínidos y un cobítido [TABLA 9-3]. La especie restante, el blenio de río (*S. fluviatilis*), pertenece a los Perciformes. Dos de las especies exóticas son de amplia distribución global: pez sol (*L. gibbosus*) y gambusia (*G. holbrooki*). La tercera, el chanchito (*A. facetus*) presenta una distribución más restringida, globalmente y en la península ibérica, donde se concentra en la cuenca del Guadiana (Hermoso *et al.*, 2008).

La riqueza de especies por localidad fue extraordinaria: en la cuenca del Chanza se registraron entre 6 y 8 especies y en la del Múrtigas entre 3 y 10 [TABLA 9-3]. Destacaron el tramo final de la rivera de Alcalaboza antes de la conjunción con la rivera del Aserrador a pocos kilómetros de la unión con la rivera del Chanza, y el río Múrtigas, entre Encinasola y Barrancos, con 8 y 10 especies nativas, respectivamente. Estos valores no tienen parangón en un contexto ibérico donde pocas localidades poseen este número de especies, salvo alguna muy conservada de la propia cuenca del Guadiana (Doadrio, 2011). Hay que tener en cuenta que la biodiversidad de peces continentales del ámbito mediterráneo se caracteriza por ser exigua -la limitada superficie de las cuencas, los impactos humanos y la dureza de las condiciones ambientales resultantes del dinamismo del clima, especialmente de la persistente sequía estival que hace que desaparezca la red de drenaje durante buena parte del ciclo anual- impide el asentamiento de más especies, que además

TABLA 09-3

Composición de la ictiofauna de los cursos de agua de la Sierra de Huelva pertenecientes a la cuenca del Guadiana, estudiados entre los años 2000 y 2010 (ver Prenda *et al.*, 2011).

	CHANZA				MÚRTIGAS						
Especies	**GDCh1**	**GDCh3**	**GDCh4**	**GDCh5**	**GDM1**	**GDM2**	**GDM3**	**GDM4**	**GDM5**	**GDM6**	**GDM7**
NATIVAS											
A. hispanica	x		x	x	x						
L. comizo					x						
L. microcephalus			x		x						
L. sclateri	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
I. lemmingii	x	x	x		x		x	x	x	x	x
P. willkommii	x	x	x		x		x		x	x	
I. alburnoides	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
S. pyrenaicus		x	x		x		x	x	x	x	x
C. paludica	x	x	x		x	x	x	x	x		x
S. fluviatilis					x						
EXÓTICAS											
A. facetus	x		x								
L. gibbosus	x		x		x				x		
G. holbrooki	x		x		x		x				
NATIVAS	6	6	8	1	10	3	6	5	6	5	5
EXÓTICAS	3	0	3	0	2	0	1	0	1	0	0
TOTAL	9	6	11	1	11	3	7	5	7	5	5
% NATIVAS	67	100	73	100	82	100	86	100	86	100	100

presentan un elevado grado de endemicidad (Smith y Darwall, 2006). Desde el punto de vista adaptativo, el clima mediterráneo impone numerosas restricciones a los peces, sobre todo a su ecofisiología y a sus estrategias de vida que los convierte en organismos altamente especializados.

En la porción de la sierra correspondiente a la cuenca del Guadiana todas las especies nativas son endémicas del sur o suroeste ibérico, excepto el blenio, que se distribuye por gran parte de la cuenca mediterránea, aunque las poblaciones del Guadiana son las únicas atlánticas de Iberia y, además, genéticamente diferentes del resto (Almada *et al.*, 2009). De las otras especies, las más endémicas son, sin duda, el barbo cabecicorto (*L. microcephalus*) y el jarabugo (*A. hispanica*), ambas exclusivas de la cuenca del Guadiana. En el caso del jarabugo, al margen de sus misteriosas biología y ecología (Lozano-Rey, 1935), se trata de un género monoespecífico, lo que le otorga un gran valor evolutivo y de conservación. Esto, junto con su delicado estatus, regresión continuada y extinción local de muchas de sus poblaciones, hacen que esté catalogado "en peligro de extinción" (Doadrio *et al.*, 2011a). Es la especie estrella, no solo de la sierra, sino de cuantas concurren en territorio onubense e incluso peninsular. Por su carácter monoespecífico se puede decir que es el vertebrado ibérico con más valor de conservación desde el punto de vista evolutivo.

La rivera de Alcalaboza y el jarabugo

En la primavera de 2001 muestreamos los peces en 28 localidades de la cuenca del Guadiana. Durante este muestreo se capturaron jarabugos en cuatro localidades: una en la cuenca del Ardila (Badajoz), dos en la rivera del Chanza y una en la de Alcalaboza. En abril de 2005 se realizó otro muestreo incluyendo esta vez 80 localidades repartidas entre la rivera Grande de Ayamonte (Huelva) y la subcuenca del río Matachel (Badajoz). Durante el mismo se visitaron nuevamente tres de las cuatro localidades prospectadas en 2001 y en dos de ellas (Ardila y Chanza) no se capturó ningún jarabugo, aunque sí que aparecieron nuevamente en Alcalaboza. Este endemismo del Guadiana se comporta como el propio río apareciendo y desapareciendo como por arte de magia.

TABLA 09-4

Abundancia del jarabugo *(A. hispanica)* en distintas localidades de la cuenca del Guadiana hasta el año 2005. La población del Alcalaboza (Huelva) era entonces, con diferencia, la más numerosa.

FUENTE: 1) Collares-Pereira *et al.* (1999), 2) Datos propios

Subcuenca	Localidad	Abundancia (ind. 100 m^{-2})	Fuente
Xévora	I	1,4	1
	II	0,8	
	III	1,1	
Caia	I	0,7	
	II	5,6	
Degebe	I	0,3	
	II	1	
	III	0,8	
Ardila	I	0,6	
	II	0,6	
	III	1,2	
	IV	2,1	
Múrtigas	GDM1	1,3	2
Chanza	I	7,4	1
	II	4,4	
	III	1,8	
Chanza	GDCh3	13,1	2
	C2	1,6	
	GDCh1	0,6	
Alcalaboza	GDCh4 (2001)	164,8	
	GDCh4 (2005)	48,3	
Matachel	Ma1	3,8	
Carreiras	I	29,2	1
	II	7,6	
	III	10,5	
Vascão	I	3,7	
	II	0,6	
	III	0,4	
Foupana	I	3,1	
	II	0,2	
Odeleite	I	0,3	

La comparación de los valores de abundancia de jarabugos registrada en distintas localidades de la cuenca del Guadiana, a partir de datos propios y de otros autores, puso en evidencia que la población de la rivera de Alcalaboza era con mucha diferencia la que presentaba mayor densidad [TABLA 9-4] de cuantas se poseía información. Los valores de abundancia de la especie en esta localidad superaron los de cualquier población conocida hasta aquel momento.

Además de poseer una población de jarabugos muy saludable, el tramo estudiado de la rivera de Alcalaboza presentó una ictiofauna inusualmente rica en especies nativas, como ya se dijo. Así se da la circunstancia poco común de coexistir en él dos especies de barbos (*L. microcephalus* y *L. sclateri*), y dos parejas de especies que tienden a segregarse espacialmente: calandinos (*I. alburnoides)* vs. cachuelos (*S. pyrenaicus*) y bogas (*P. willkommii*) vs. pardillas (*I. lemmingii*). A todo ello se debe añadir que las especies de peces que acompañaban al jarabugo en este tramo de la rivera están catalogadas como "Vulnerables" en el Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España (Doadrio, 2001), excepto *L. sclateri*.

En el último estudio publicado sobre el jarabugo, a partir de muestreos realizados los años 2009 y 2010, la especie había desaparecido de las cuencas del Chanza, Múrtigas y Ardila (Doadrio *et al.*, 2011b). Esto no implica necesariamente su extinción local dado que en esta especie es reconocida desde muy antiguo su capacidad para aparecer y desaparecer de algunos tramos fluviales sin razón aparente (Lozano-Rey, 1935) como se señaló anteriormente. Pero atendiendo al estado actual de los ecosistemas fluviales, esa misteriosa capacidad del jarabugo de resurgir tras un periodo de ausencia, puede verse comprometida. La porción de sierra que queda dentro de la cuenca del Guadiana, el hábitat potencial del jarabugo en Huelva, está cada vez más afectada por los vertidos de aguas residuales procedentes de la cada vez más pujante industria cárnica del cerdo ibérico, incluyendo la salazón, así como por el resto de las transformaciones que afectan a los espacios rurales en general, incluida la penetración de especies exóticas (Blanco *et al.*, 2009).

[4]
El bajo Guadiana

Los tramos bajos de los ríos concentran la mayor diversidad biológica de las cuencas por donde discurren, así como los efectos negativos del conjunto de impactos que se distribuyen por ellas. A su elevada importancia ecológica se suma la vulnerabilidad derivada de la degradación que acumulan. Dentro de estos tramos fluviales inferiores destacan los estuarios, sumamente relevantes, poco conocidos y de características muy peculiares. Son espacios que se extienden por donde las aguas continentales se mezclan con las marinas y por las tierras aledañas susceptibles de ser cubiertas por las oscilaciones de las mareas y las avenidas. El estuario es un ámbito complejo donde se producen múltiples interacciones ecológicas que afectan no solo al propio río sino a extensos sectores litorales. Una importante característica de los medios estuarinos es su elevada productividad primaria, resultante de la combinación de una baja profundidad, elevada disponibilidad de nutrientes (aportados por el caudal del río), mezcla vertical y elevada penetración de la luz. Es además un espacio con gran incidencia económica en las poblaciones humanas adyacentes y cuyo deterioro puede tener graves repercusiones negativas en las mismas.

A pesar de su singularidad y relevancias ecológica y económica, muchos estuarios se han visto afectados negativamente por diversas actuaciones humanas de variada índole (Ruiz *et al.*, 2014). En el caso particular del estuario del Guadiana, hasta hace poco en excelente estado de conservación, la regulación de caudales aguas arriba, especialmente tras la construcción de las presas de Alqueva (Portugal), del Chanza y del Andévalo, ha tenido importantes consecuencias sobre la dinámica natural del mismo y sobre sus valores de biodiversidad (Chícharo et al, 2006; 2009). Por estas y otras razones, el estuario del Guadiana ha sido comparativamente más estudiado que otros del entorno. Se conoce su hidrología y eco-hidrología, su limnología, el plancton y su dinámica, la malacofauna y los crustáceos, su papel como área de reproducción y engorde de especies marinas, el impacto ejercido por la presa de Alqueva, su grado de contaminación, así como sus peces (Chícharo *et al.*, 2006). En el estuario del Guadiana existen estudios sobre ictiofauna esencialmente marina (Esteves *et al.*, 2000a y b; Chícharo *et al.*, 2002, Sá *et al.*, 2006), pero casi ninguno sobre los peces continentales o propiamente estuarinos, salvo el de Chícharo *et al.* (2006). También hay algún trabajo sobre las comunidades de peces continentales de algunos tributarios de zonas próximas al estuario (Godinho *et al.*, 1997).

En el año 2004 el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y la Universidad de Huelva suscribieron un convenio para el "*Estudio de la ictiofauna, flora acuática y vegetación riparia del estuario del río Guadiana*" que fue asignado a nuestro grupo de investigación. Este estudio nos permitió la caracterización de los peces de este medio tan singular, incluidos sus tributarios por la margen izquierda (Prenda *et al.*, 2005).

Características estructurales y físico-químicas del estuario del Guadiana

Durante el periodo de estudio, llevado a cabo entre julio y diciembre de 2004, en el estuario se identificaron un sector medio, donde se produce la mezcla de las aguas marinas y fluviales y un sector superior o fluvial, de agua dulce. En el primero, de 28 km de longitud, se observó un gradiente de salinidad desde los 55 mS cm-1 del punto más bajo (unos 5 km aguas arriba de la desembocadura) hasta los 0,6 mS cm-1 del comienzo del sector fluvial, que mantuvo este valor de salinidad en todo su recorrido aguas arriba. La anchura del estuario osciló entre 200 m y 400 m en la mayor parte del tramo estudiado, disminuyendo desde los sectores inferiores hacia los superiores, entre los 664 m del punto más bajo hasta los 140 m del punto más alto.

El estuario se comportó entre uno parcialmente mezclado y otro bien mezclado. La zona parcialmente mezclada se correspondió con el sector medio, hacia la zona inferior o marina, y la zona bien mezclada con el sector fluvial o superior. Se observó una pequeña estratificación vertical que afectó a la salinidad, a la concentración de oxígeno disuelto y al pH, responsable de la aparición de una picnoclina/haloclina, normalmente dentro de los cuatro metros superiores de la columna de agua. En las zonas más profundas el perfil estuvo normalmente mezclado. En general, la estratificación se produjo en los 12 últimos km del estuario. Esta estratificación fue disminuyendo desde la zona inferior hasta la superior o fluvial, donde ya no se manifestó.

La conductividad, el oxígeno disuelto y el pH en el sector intermedio del estuario (donde se definen los principales gradientes físico-químicos del área, ya que el estuario fluvial aparecía completamente

mezclado) estuvieron, en general, negativamente correlacionados. El comportamiento de la salinidad en el estuario parecía ser determinante del de los restantes parámetros físico-químicos estudiados, excepto de la temperatura.

Los peces del estuario del Guadiana y sus principales tributarios

El muestreo de la ictiofauna del estuario se llevó a cabo entre los días 25 y 30 de octubre y entre el 8 y el 13 de noviembre de 2004, con trasmallos, nasas holandesas, trampas de rejilla para peces pequeños y medianos y trampas de botella para peces pequeños, tanto en aguas libres como en orillas [PUNTOS G1-G8, TABLA 9-1]. En el tramo final del estuario, próximo a la desembocadura el muestreo se completó con redes de arrastre, del tipo *otter trawls* [PUNTOS GD1-GD9, TABLA 9-1]. Los arrastres se realizaron desde una embarcación de 6 m de eslora, durante un período de 6 h comenzando en la bajamar y finalizando en pleamar.

La rivera Grande de Sanlúcar se muestreó entre los días 26 y 31 de julio de 2004, cuando su caudal era nulo y el cauce estaba reducido a un rosario de pozas aisladas [PUNTOS RSG1-RSG7, TABLA 9-1]. Las riveras de Barcia Longa [RBL1, TABLA 9-1] y Grande de Ayamonte [PUNTOS RGA1-RGA3, TABLA 9- 1] se muestrearon entre los días 3 y 7 de diciembre de 2004. En esta época los arroyos llevaban un caudal muy escaso debido a la falta de lluvias. El método de captura en todos estos tributarios fue la pesca eléctrica.

Inventario de especies

Desde el punto de vista ictiológico, la cuenca del Guadiana presenta unas características muy diferentes al resto de las grandes cuencas ibéricas (Doadrio, 2001). En sus aguas dulces faltan poblaciones autóctonas de trucha común (*Salmo trutta*) debido a la casi total ausencia de ríos de montaña. Posee endemismos exclusivos como el jarabugo y el barbo cabecicorto. Contiene especies en peligro de extinción como el blenio de río o el escasísimo (prácticamente extinto) esturión (*Acipenser sturio*). Además, existen todavía especies migradoras como la lamprea marina (*Petromyzon marinus*), el sábalo (*Alosa alosa*), la saboga (*Alosa fallax*) y la anguila (*Anguilla anguilla*), muchas de ellas desaparecidas en la mayor parte de los ríos peninsulares por la construcción de presas (Doadrio, 2001).

En el estuario del Guadiana, en el año 2004, capturamos 4.870 ejemplares de 28 especies de peces, pertenecientes a 18 familias [TABLA 9-5]. Esta estima de la riqueza de especies es conservadora y podría ser algo superior. La familia con mayor número de especies fue la de los ciprínidos (al menos 6 especies), seguida de mugílidos (al menos 2), morónidos (2), centrárquidos (2), singnátidos (2) y espáridos (2). El resto de familias sólo presentó un representante. Destacaron, por su rareza y escasez en otras cuencas ibéricas, varias especies migradoras como la anguila (*A. anguilla*), la saboga (*A. fallax*) y la lamprea marina (*P. marinus*). Las dos primeras están consideras “Vulnerables” y la lamprea se encuentra “En peligro de extinción” (Doadrio, 2001).

La mayoría de las especies capturadas fueron autóctonas (24 especies, 85,7%) y sólo cuatro fueron alóctonas (14,3%): el chanchito, la gambusia, el blacbás y el pez sol, casi todas ellas capturadas en la Rivera Grande de Sanlúcar, si bien algunos ejemplares de pez sol se capturaron también en Barcia Longa.

TABLA 09-5

Listado de las especies de peces capturadas en el Bajo Guadiana en 2004. Se indican los datos de abundancia media (CPUE ± desviación estándar) para toda la zona de estudio. La pesca combinada hace referencia al empleo simultáneo de trasmallos, nasas holandesas, trampas de rejilla (minnow traps) y trampas de botellas. En Barcia Longa sólo se muestreó una localidad. Las CPUE entre los distintos métodos de captura no son comparables porque a cada una se le aplica un esfuerzo de muestreo distinto.
Se indica el lugar de captura. 1: Artes combinadas, 2: Arrastre, 3: pesca eléctrica.

Especies	Guadiana[1]	Guadiana[2]	R.G. Sanlúcar[3]	Barcia Longa[3]	R.G. Ayamonte[3]
NATIVAS					
I. lemmingii			2,2±9,3		
I. alburnoides			0,7±2,5		6,0±5,8
L. comizo	13,2±14,9				
Luciobarbus sp.	6,5±7,3				
L. sclateri	4,7±9,1		2,1±3,7	16,4	4,7±6,8
P. willkommii	0,4±0,9		0,01±0,04		
S. pyrenaicus			1,8±4,2		
C. paludica			1,4±1,5		
P. marinus					
A. anguilla	2,1±3,0		0,4±0,7	5,5	2,9±1,1
A. fallax	0,2±0,4				
C. labrosus	3,2±5,2				
Liza spp.	5,7±5,3		0,1±0,4		
A. boyeri	1,1±1,7		0,1±0,2		
E. encrasicolus	0,1±0,4				
H. didactylus	0,2±0,4	0,4±0,6			
H. hippocampus		0,05±0,14			
S. abaster	0,2±0,4				
D. sargus	0,2±0,4	0,1±0,2			
D. vulgaris		0,3±0,4			
P. microps	14,2±22,5				
S. bailloni		0,1±0,2			
D. labrax	2,2±2,4	0,2±0,6			
D. punctatus	0,8±1,4				
S. vulgaris	0,1±0,4	0,1±0,2			
EXÓTICAS					
G. holbrooki			0,3±0,6		
L. gibbosus			2,1±3,3	76,4	
M. salmoides			0,7±1,0		
A. facetus			0,2±0,4		

Para el conjunto del área de estudio la especie más abundante fue el pez sol, con un 43,5% de las CPUE, seguido del barbo común (15,5%); las capturas de blacbás, aunque no alcanzaron una frecuencia elevada, fueron bastante significativas (331 ejemplares). Estas cifras son realmente alarmantes ya que, como se ha comentado, estas especies impactan de forma muy negativa sobre la ictiofauna nativa ibérica.

En el canal principal del estuario y teniendo en cuenta el empleo de artes combinadas y arrastres, la especie más abundante fue el gobio de arena (*P. microps*) [TABLA 9-5], con el 25,2% de las CPUE. Este es un pequeño pez bentónico capturado principalmente en las trampas de botella. Le siguieron en importancia el barbo picón (*L. comizo*) (23,4% CPUE), especie de gran tamaño, bien representada en la zona del estuario con aguas más dulces y capturada en trasmallos. El barbo común (*L. sclateri*), el robalo (*D. labrax*) y los mugílidos (*Liza* sp. y *Ch. labrosus*), también especies grandes, fueron bastante abundantes y capturadas principalmente en trasmallos. El resto de especies se capturó de forma ocasional [TABLA 9-5].

En el tramo de la desembocadura, muestreado con arrastres desde una embarcación, se obtuvieron muy pocas capturas [TABLA 9-5], a pesar del gran esfuerzo de pesca aplicado. El sapo (*H. didactylus*) y la mojarra (*D. vulgaris*) fueron las especies de las que se obtuvieron un mayor número de ejemplares [TABLA 9-5].

En la rivera Grande Sanlúcar se capturó un total de 13 especies: 6 nativas de distribución primaria, 3 secundarias y 4 exóticas, lo que constituye la mayor riqueza de especies de todos los afluentes muestreados. La especie más abundante fue la pardilla (*I. lemmingii*), que apareció en gran número en pequeñas pozas localizadas en la cabecera de este tributario [TABLA 9-5]. Le siguieron muy de cerca el barbo común, el pez sol y el cachuelo (*S. pyrenaicus*). En la rivera Grande de Ayamonte y en Barcia Longa se capturaron sólo tres especies en cada una de ellas. En ambas riveras se capturaron barbos comunes y anguilas además del pez sol en Barcia Longa y calandino en la rivera Grande de Ayamonte. En todos los casos el número de capturas fue muy bajo [TABLA 9-3].

Distribución longitudinal de la ictiofauna y selección hábitat

El género Luciobarbus en el bajo Guadiana

En el bajo Guadiana coexisten dos especies de barbos, el picón y el común. También se localizaron ejemplares con características intermedias y que fueron registrados como *Luciobarbus* sp. Los barbos, en conjunto, estuvieron presentes en la práctica totalidad de las localidades muestreadas faltando tan solo en los puntos más próximos a la desembocadura, donde los altos valores de salinidad limitaban su presencia.

Se observaron claras diferencias en la distribución de los barbos picones y comunes. Los primeros aparecieron únicamente en el cauce principal del río, sólo en las localidades más alejadas de la desembocadura, y nunca en los tributarios. Su mayor abundancia se registró en las localidades situadas más al norte, disminuyendo notablemente a medida que se descendía hacia la desembocadura. El barbo común se encontró en el cauce principal, en la porción central del estuario con un solapamiento casi nulo con el barbo picón, así como en todos los tributarios. Ambas especies sólo coincidieron en una localidad intermedia, donde el picón mostró valores mínimos de abun-

dancia. La distribución de los individuos no asignados a ninguna de las dos especies anteriores, los *Luciobarbus* sp., fue prácticamente idéntica a la del barbo picón. Por lo que es muy probable que estos ejemplares fueran realmente picones con características poco definidas.

Los otros ciprínidos

Del resto de ciprínidos presentes en la zona de estudio tan sólo la boga (*P. willkommii*) se ha capturado en el cauce principal del Guadiana en las dos localidades situadas más al norte y en varias pozas del tramo medio de la Rivera Grande de Sanlúcar. La pardilla sólo se capturó, en gran número, en algunas pozas de la cabecera de este mismo tributario. Tanto el cachuelo, como el calandino fueron muy abundantes en varias pozas de la Rivera Grande de Sanlúcar. También se capturaron varios ejemplares de calandino en la Rivera Grande de Ayamonte.

En conjunto solo los ciprínidos de mayor talla, barbos y bogas ocuparon el cauce principal del río Guadiana. El resto, mucho menores, solo se distribuyó por los tributarios.

Los mugílidos

Dentro de esta familia se identificaron dos géneros, *Liza* y *Chelon*. El primero con dos especies, *L. ramada* y *L. aurata*, aunque la mayoría de los individuos pertenecían a la primera. El segundo género sólo incluyó a *Ch. labrosus*.

En conjunto, los mugílidos se distribuyeron a lo largo de todo el estuario del Guadiana. *Liza* spp. solo faltó en las localidades más próximas a la desembocadura, posiblemente por problemas relacionados con la eficacia del muestreo. Esta especie suele utilizar las zonas del estuario más alejadas de la desembocadura (Almeida, 1996), lo que explica que su abundancia fuera máxima en las localidades situadas más al norte. La distribución de *Ch. labrosus* estuvo más desplazada hacia la desembocadura, alcanzando el máximo de abundancia en la zona central del estuario.

La anguila

La anguila (*A. anguilla*) se capturó tanto en el cauce principal como en los tributarios. No se detectó en el tramo más bajo, pero al ser una especie diadroma que tolera amplios rangos de salinidad, puede considerarse que su distribución incluía todo el estuario. Fue especialmente abundante en algunas pozas de la rivera Grande de Sanlúcar y en la zona media-alta del estuario.

Los centrárquidos

La distribución de los centrárquidos quedó restringida a algunas zonas estrictamente continentales del área de estudio. Tanto el blacbás (*M. salmoides*) como el pez sol (*L. gibbosus*) se capturaron en gran número en varias pozas del tramo medio-bajo de la rivera Grande de Sanlúcar. El pez sol, además, apareció en Barcia Longa y en el propio río, cerca de Sanlúcar de Guadiana durante el muestreo control, aunque con unos valores de abundancia más bajos.

La gambusia y el chanchito

Las alóctonas gambusia y chanchito se distribuyeron por la parte baja de la rivera Grande de Sanlúcar, próxima a su confluencia con el Guadiana.

Distribución batimétrica de los peces

Aparte de su distribución longitudinal, a lo largo del eje de los cauces, en algunas especies se advirtieron preferencias por una posición específica en la columna de agua. Es el caso de los barbos, cuyas capturas fueron estadísticamente el doble en fondo que en superficie. Los mugílidos, en cambio, mostraron una clara preferencia por la superficie y todas las capturas se consiguieron en los trasmallos colocados en la porción superior de la columna de agua.

Los hábitos alimenticios de las especies pueden determinar su distribución. Los barbos suelen alimentarse de macroinvertebrados bentónicos y detritus (Magalhães, 1993), por lo que pasan gran parte de su tiempo en las proximidades del fondo de los ríos. Los mugílidos, por su parte, especialmente *L. ramada*, son eficientes filtradores que basan gran parte de su dieta en la porción planctónica de las comunidades acuáticas (Cardona, 1996), que capturan frecuentemente en la superficie del agua.

Asociaciones de especies y variables ambientales

A partir de diferentes análisis estadísticos se pudieron identificar cinco asociaciones de especies o especies solitarias en algunos casos en función de sus patrones de distribución comunes. Estas asociaciones de especies estuvieron vinculadas en diferente medida a distintas configuraciones del hábitat. Por ejemplo, la asociación formada por *Luciobarbus* sp., *L. comizo*, *Liza* sp. y *A. boyeri* tendía a aparecer en localidades alejadas de la desembocadura del río, con una temperatura del agua relativamente elevada, baja salinidad y cauces estrechos. El resto de asociaciones identificadas aparecían en localidades con características más o menos opuestas a las anteriores. Este análisis, además de identificar las relaciones de las distintas asociaciones de peces con las variables del hábitat, puso de manifiesto la existencia de dos comunidades básicas en el estuario del Guadiana definidas por la salinidad: una comunidad típica del estuario fluvial, formada por especies que suelen aparecer en zonas de bajo contenido salino y alejadas de la desembocadura del río y otra formada por especies típicas de zonas salobres e incluso salinas (Thiel *et al.*, 2003).

B. sclateri no parecía mostrar un patrón definido con respecto a la salinidad. En cambio *B. comizo* y los individuos identificados como *Barbus* sp. sí que presentaron una fuerte relación con este factor; se hicieron más escasos a medida que aumentaba la concentración salina. La respuesta de otras especies fue contraria a la mostrada por los picones. Es el caso del gobio que, aunque se capturó a lo largo de todo el estuario, su abundancia aumentaba significativamente a medida que lo hacía la salinidad del agua.

[5]
La cuenca del Odiel

La cuenca del río Odiel está severamente afectada por la contaminación derivada del drenaje ácido de minas desde tiempo inmemorial, aunque recién este proceso continúa extendiéndose en la medida que aumenta el número de explotaciones de los sulfuros masivos de la faja pirítica Ibérica (Olías

et al., 2004). La cuenca es un mosaico de zonas contaminadas, donde la vida acuática macroscópica es inviable, y zonas libres de contaminación, algunas extraordinariamente bien conservadas, en las que aún es posible registrar fauna y flora acuáticas, incluidos peces (http://www.life-etad.com/index.php/es/el-rio-odiel).

En el año 2003 se realizó un estudio para determinar el estado ecológico y el valor de conservación de la porción de cuenca del Odiel libre de contaminación minera. Para ello se estudiaron diez tramos fluviales (Rivera del Villar, Rivera de Palanco, Rivera de La Escalada, Rivera de Santa Eulalia, río Odiel, Rivera de Tallisca, Arroyo Chapinero, Arroyo Monte de la Osa, Rivera de Olivargas y Rivera de Almonaster) [VER TABLA 9-1] en los que se caracterizó el hábitat acuático y el ripario y se muestrearon los peces con pesca eléctrica y nasas holandesas.

La rivera del Villar nace en las cercanías de Zalamea la Real y recorre unos 20 Km antes de unirse al río Odiel. Cuando se hizo este trabajo, poseía un agua de notable calidad hasta recibir en su tramo medio los lixiviados de la mina del Buitrón a través del arroyo Caladeros. Más tarde, esto cambió con nuevos vertidos en su tramo medio. La rivera de La Escalada nace en las cercanías de Almonaster la Real y recorre unos 17 Km hasta desembocar en el río Odiel. Posee aguas de notable calidad hasta que llega a la mina de San Miguel donde sus lixiviados acidifican las aguas de la rivera. La rivera de Santa Eulalia nace en las cercanías de Santa Ana La Real, donde recibe el nombre de rivera de Santa Ana y se une al Odiel después de recorrer unos 18 km, aguas abajo del embalse del Odiel. La localidad situada en la cabecera del propio río Odiel corresponde a la zona que todavía no está contaminada. En este punto el río presenta una calidad del agua muy buena y una ribera bien conservada. El Oraque es el afluente más importante del río Odiel. Su red de drenaje se encuentra muy fragmentada debido a que muchos de sus arroyos bajan contaminados por lixiviados mineros. Las riveras en las que se fijaron los puntos de muestreo (Tallisca, arroyo Chapinero, Arroyo Monte de la Osa) eran de las pocas en las que el agua tenía una calidad aceptable. La cuenca de la rivera de Olivargas (Olivargas y Almonaster) está situada muy próxima a la de la rivera de La Escalada. Posee una longitud aproximada de 26 Km y está regulada, con un embalse en su tramo final que inunda una superficie de 247 ha.

La singular riqueza íctica del Odiel

En total se capturaron 5.255 peces pertenecientes a siete especies [TABLA 9-6], cinco autóctonas: barbo común, pardilla, cachuelo, calandino, colmilleja, y dos exóticas: gambusia y pez sol, ninguna de las dos citadas para la cuenca del Odiel en el Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España (Doadrio, 2001). Ambas poseen carácter invasor, esto es, un elevado potencial de interferir con las comunidades nativas y en último término de propiciar su extinción (Prenda *et al.*, 2006a, 2006b, 2010). La fauna de especies autóctonas hace de la cuenca del río Odiel una de las más ricas del sur Peninsular en cuanto a la relación nº de especies/superficie de la cuenca, hecho que la dota de una singularidad especial que merece ser conservada. Aunque esto empieza a ser difícil.

Y es que en este trabajo no se capturó ni una sola boga, especie que había sido citada con anterioridad en el Odiel (Doadrio, 2001), lo que apunta a su posible extinción en la cuenca. La boga es un ciprínido de mediano tamaño, ambientalmente sensible, que muestra cierta preferencia por tramos

con corriente y aguas moderadamente oxigenadas, por tanto, cualquier modificación del hábitat fluvial podría incidir negativamente sobre ella, acelerando su regresión. Doadrio *et al.* (2011a) aunque señalan a la cabecera del río Odiel como tramo permanente de boga, en muestreos realizados por el grupo del autor durante los años 2009 y 2010 no se capturan en ninguno de los puntos situados en esta cuenca (Doadrio com. pers.), lo que ratifica la delicada situación de esta especie en el Odiel, incluso su posible extinción local.

TABLA 09-6

Ictiofauna de diez tramos fluviales de la cuenca del río Odiel (Huelva) registrada en el año 2003. Se indica la abundancia obtenida con pesca eléctrica y con nasas, expresada como capturas por unidad de esfuerzo (CPUE). ABU: abundancia total (CPUE), CV: coeficiente de variación (%) de las abundancias. Para el código de las localidades, ver Tabla 1.

	CHA	MDO	ODI	AL	ESC	OLI	PAL	SEU	TAL	VIL	N	media	CV (%)
NATIVAS													
L. sclateri	4,3	492,1	352,6	29,5	7	32,5	11,9	392,2	562,3	34,1	10	191,9	119
S. pyrenaicus	-	157,8	-	1-	25,1	88,3	58,8	-	452,1	33	7	82,5	169
I. lemmingii	16,6	7,8	-	-	13,6	-	1,9	-	8,4	91,9	6	14	200
I. alburnoides	-	-	10,2	68,2	-	-	-	149,4	-	-	3	22,8	216
C. paludica	2,5	5,3	-	7,5	-	-	-	-	1	-	4	1,6	165
EXÓTICAS													
L. gibbosus	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	1	6	316
G. holbrooki	-	6,6	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,7	316
ABU	28,8	681,1	385,9	158,2	50,3	120,8	79,1	544,4	1068,6	202,7			
CV	182	192	256	153	149	195	210	193	169	151			

En todos los tramos estudiados hubo peces, aunque la abundancia de estos fue muy heterogénea [TABLA 9-6]. La localidad con más capturas fue la rivera de Tallisca y donde menos hubo fue en el arroyo Chapineros, con solo 55 ejemplares. Estos datos, moderadamente bajos, se corresponden con ríos poco productivos, en general de carácter ácido, como los de la cuenca del Odiel.

Desde el punto de vista numérico y de amplitud de distribución, la especie dominante en la cuenca fue el barbo, presente en todas las localidades, seguida de cachuelos (7 localidades), pardillas (6), colmillejas (4) y calandinos (3). Mientras que las exóticas solo se capturaron en una localidad cada una. La asociación de especies observada en el Odiel, en la que tres de ellas poseen estatus de "vulnerable" para Andalucía, se corresponde con la esperable para la zona. Sin embargo, son pocas las áreas del cuadrante suroccidental Ibérico con una ictiofauna tan poco perturbada como la detectada en esta cuenca en el año 2003. Esto la dotaba de un elevado valor de conservación, acentuado entonces por la casi ausencia de especies

exóticas. Los tramos fluviales con una ictiofauna más equilibrada, medida con el coeficiente de variación de la abundancia, fueron los de la rivera La Escalada, la rivera del Villar y la rivera de Almonaster. En el río Odiel, la comunidad, muy pobre, estuvo claramente dominada por el barbo [TABLA 9-6].

En el contexto de las cuencas meridionales ibéricas, el río Odiel destaca claramente por una elevada riqueza de especies filogenéticamente muy próximas. El promedio de especies de estas características presentes en esta cuenca es nítidamente superior al que se observa en ríos mayores, como el Segura, el Júcar o el propio Guadalquivir, este último con una cuenca más de 20 veces más extensa que la del Odiel. Aunque no podemos actualmente determinar qué factores permitieron en el río Odiel la convivencia de estas especies, los resultados obtenidos evidencian que esta cuenca presenta características peculiares en un ámbito regional. Cabe destacar la presencia simultánea en la misma de calandinos y cachuelos, dos especies entre las que se establecen complejas relaciones filogenéticas. El calandino es una especie de origen híbrido que necesita de la presencia de otra especie del género *Squalius* para completar sus complejos ciclos reproductivos, en los que intervienen gametos de las especies acompañantes (en este caso del cachuelo) (Carmona *et al.*, 1997). Los mecanismos implicados en la evolución del calandino no han sido aun completamente descifrados y el estudio de las poblaciones del Odiel ayudaría a una mejor comprensión de la biología de esta especie, única a escala mundial. La presencia del calandino se restringe en España a las grandes cuencas (Guadalquivir, Guadiana, Tajo y Duero) y solo en Portugal ocupa algunas cuencas menores.

En resumen, tanto por su elevada diversidad específica como por la llamativa presencia de especies filogenéticamente próximas en relación con la superficie ocupada, la cuenca del río Odiel es peculiar y destacada en el ámbito ibérico. El interés de conservación de su ictiofauna continental debe considerarse por tanto muy alto.

[6]
Los peces de la Cuenca del Tinto

El río Tinto conocido por los fenicios como Ur-yero, o río de Fuego, debido a su color rojo y aguas extremadamente ácidas drena el cinturón pirítico más grande del mundo. Estos depósitos minerales se han explotado desde hace más de 6000 años. La alteración espontánea de estas masas minerales, junto con la actividad minera, han sido durante mucho tiempo fuente de contaminación para las aguas de este río. En la actualidad, estas aguas presenta un pH extremo y constante, alrededor de 2, desde su nacimiento hasta cerca de la desembocadura en el Odiel y contiene concentraciones mucho más altas de metales pesados disueltos que las que se encuentran en cualquier hábitat acuático continental planetario (Olías y Nieto, 2012). A pesar de ello, este río muestra un inesperado grado de diversidad de procariotas y eucariotas unicelulares (Zettler *et al.*, 2002), aunque es un hábitat hostil para organismos macroscópicos como los peces que se ven obligados a sobrevivir en sus tributarios, actuando el propio río Tinto como una barrera longitudinal insuperable para este tipo de fauna.

La fragmentación longitudinal generada por el rio Tinto es única. Da lugar a un conjunto de subcuencas completamente aisladas entre sí, cada una con sus comunidades propias, sin posibilidad de intercambio espontáneo entre ellas. Esto contrasta con la fragmentación típica en cuencas reguladas

por presas, de carácter transversal, que genera secciones no conectadas aguas arriba y aguas abajo del obstáculo. La excepcional barrera generada por el Tinto debe ser determinante no solo de la distribución de los peces, sino de su estado de conservación e incluso de su evolución reciente.

¿Cómo se distribuyen los peces en la cuenca del Tinto?

Aquí se analizará la influencia de esta fragmentación singular sobre el patrón observado en la distribución de los peces en la cuenca y se discutirá el posible vínculo de esta distribución con el origen de la contaminación del Tinto, si secular o reciente, siguiendo una nueva teoría sobre este asunto. Para ello, entre los años 2000 y 2001, utilizando una combinación de pesca eléctrica y redes, se muestrearon los peces en los principales afluentes de este río ácido, cinco en la margen izquierda: Jarrama, Gallego, Hornueco, Tamujoso, Corumbel y Estero de Domingo Rubio, y cinco en la derecha: Cachán, Manzano, Valverde, Candón y Nicoba.

En total se registraron once especies de peces en toda la cuenca [TABLA 9-7], seis nativas (barbo, cachuelo, boga, pardilla, colmilleja y anguila) y cinco exóticas (carpa, carpín, pez sol, blacbás y gambusia). Casi el 50% de las especies fue foráneo.

TABLA 09-7

Listado de peces continentales registrados en la cuenca del Río Tinto y afluentes donde fueron localizados. Se incluye la frecuencia de ocurrencia (F.O.) calculada como el porcentaje de afluentes donde una determinada especie ha sido encontrada. Para el código de localidades y sus correspondientes coordenadas UTM, ver Tabla 1.

Especies	JAR	CAC	GAL	HOR	MAN	VAL	COR	CAN	NIC	DRU	F.O.
NATIVAS											
L. sclateri	X	X	X	X	X	X	X	X	X		90
S. pyrenaicus		X		X	X	X	X	X	X		70
P. willkommii						X	X	X	X		40
I. lemmingii				X	X					X	30
C. paludica							X			X	20
A. anguilla									X	X	20
EXÓTICAS											
C. carpio							X	X	X	X	40
C. auratus										X	10
M. salmoides						X		X	X		40
L. gibbosus							X				10
G. holbrooki							X			X	20

Cada especie nativa mostró una distribución particular en la cuenca. La especie más abundante y a la vez con distribución más amplia fue el barbo que ocupó todos los tributarios, excepto el Estero de Domingo Rubio. El cachuelo presentó una distribución similar pero estuvo ausente de dos cursos de agua de la cabecera (Jarrama y Gallego) y de uno de la porción inferior de la cuenca (Estero de Domingo Rubio). La colmilleja tuvo una distribución muy restringida, con dos poblaciones distantes, una en el Corumbel (cuenca media) y otra en el Estero de Domingo Rubio (cuenca baja). En el Corumbel se capturaron muy pocas colmillejas, mientras que en el Estero de Domingo Rubio fueron muy abundantes y además fueron un componente relevante de la dieta de la nutria (*Lutra lutra*). La anguila estuvo ausente de la mayor parte de la cuenca y solo se capturó en dos afluentes ubicados en la zona baja de la misma (Nicoba y Domingo Rubio). La boga y la pardilla (antes ambas dentro del género *Chondrostoma*) nunca coexistieron en el mismo tributario. De la pardilla se localizaron tres poblaciones, dos en arroyos ubicados en el tramo alto de la cuenca (riveras del Hornueco y del Manzano) y otra muy alejada de las anteriores, en la zona inferior, en el Estero de Domingo Rubio. Sin embargo, la boga se distribuyó en cuatro afluentes de la cuenca media-baja (Valverde, Corumbel, Candón y Nicoba). Estas especies presentaron una distribución complementaria: la pardilla quedó restringida a las cuencas más pequeñas, mientras que la boga ocupó las más grandes [TABLA 9-7].

¿Por qué esta distribución?

A principios de este siglo, entre los años 2000 y 2001, especies como el barbo y el cachuelo, mostraban una distribución relativamente homogénea a lo largo de la cuenca y ocupaban la mayoría de los afluentes, probablemente por sus limitados requerimientos de hábitat. El barbo es una especie que puede alcanzar grandes tallas y es, además, localmente apreciada por los humanos para su consumo, por lo que su distribución podría estar facilitada por este hecho a través de translocaciones recurrentes para repoblar cuencas depauperadas.

Las elevadas exigencias de hábitat de la colmilleja, por el contrario, podrían ser las responsables de su distribución restringida en la cuenca del Tinto. Esta especie bentónica habitualmente habita fondos con sustrato deposicional fino de tipo arenoso (Clavero *et al.*, 2005), por lo que su distribución se limitó a la rivera del Corumbel y al estero de Domingo Rubio, que fueron los únicos afluentes que presentaron tramos con fondos de estas características.

Otros factores, como las interacciones competitivas, pueden jugar un papel importante en la distribución observada de la boga y la pardilla. Estas especies nunca coexistieron en la misma cuenca, lo que apunta a una posible exclusión entre ellas, tal y como observó Rodríguez-Jiménez (1987) en el río Aljucén (cuenca del Guadiana). Este autor describió un alto solapamiento trófico entre ambas especies lo que apunta a la existencia de una competencia espacial y trófica. En estudios observacionales de laboratorio registramos interacciones agresivas entre ambas especies, desplazando normalmente las pardillas a las bogas, que eran objeto de continuos ataques y mordeduras por parte de las primeras. Al final, tras unos días juntas en acuarios, las bogas sufrían graves descamaciones y posteriores infecciones que les podían producir la muerte (obs. pers.). Estas interacciones competitivas se ha observado que son especialmente intensas en cursos de agua sometidos a altas fluctuaciones ambientales y

sequía estival (Cowx *et al.*, 1984; Matthews, 1988), como los que pertenecen a la cuenca río Tinto. Los resultados de estas interacciones en afluentes aislados, con cuencas reducidas, podrían dar lugar a la extinción local de una de las dos especies, resultando en la distribución complementaria observada. En condiciones de libre flujo de individuos por toda la cuenca, sin la fragmentación longitudinal producida por la contaminación del Tinto, estas extinciones locales podrían revertirse periódicamente por colonización de individuos procedentes de otros tributarios. Una vez que se establece la barrera de las aguas ácidas, asociada a la explotación minera del XIX, se fija en cada subcuenca la distribución que resulta de las interacciones entre las diferentes especies de peces y de los efectos ambientales, sin posibilidad ya de reinstauración espontánea de la comunidad original.

La fragmentación longitudinal de la cuenca del río Tinto ejerce un efecto decisivo sobre los peces migratorios o estuarinos al impedirles colonizar los afluentes ubicados en la cuenca media y alta. Es el caso de la anguila (*A. anguilla*) presente solo en aquellos tributarios que desembocan directamente en el estuario, donde el agua de mar normaliza el pH y diluye la contaminación.

¿Por qué hay peces en la cuenca del Tinto?

La distribución observada de los peces en la cuenca del Tinto es compatible con la posibilidad de interconexión entre subcuencas hasta tiempos muy recientes. En caso de haber existido una barrera longitudinal más o menos como la actual desde tiempo inmemorial, como se ha venido sosteniendo por algunos autores (ver referencias en Olías y Nieto, 2012), la ictiofauna de la mayoría de los tributarios debiera haberse extinguido por lo exiguo de la superficie de sus cuencas. En entornos climáticos mediterráneos sometidos a un extraordinario régimen de perturbaciones, entre las que destacan las prolongadas sequías, la probabilidad de que estas cuencas hayan mantenido hábitats acuáticos ininterrumpidamente a largo plazo (por ejemplo, a escala de centenares de años o de milenios), como para permitir la persistencia de la ictiofauna debe ser prácticamente nula (Luterbacher *et al.*, 2006; Esper *et al.*, 2007). Históricamente las aguas del río Tinto han debido poseer unas características físico-químicas al menos relativamente normales. Es decir, valores de concentración de metales y pH, que habrían permitido la vida acuática macroscópica en el conjunto de la cuenca y la interconexión de la ictiofauna entre los tributarios a través de su canal principal. Esta situación pudo cambiar cuando comenzó la actividad minera generalizada a mediados del siglo XIX (Olías y Nieto, 2012) que dio lugar a la aparición de unas condiciones fisicoquímicas similares a las actuales y que han acabado convirtiendo al río en una barrera infranqueable para los peces.

En este escenario se puede esperar una la distribución de las especies de peces a lo largo de la cuenca tal y como la observamos en la actualidad. Cuando comenzó la actividad minera, la ictiofauna se vio forzada a quedar acantonada en los diferentes afluentes libres de contaminación. Y al ser este un evento relativamente reciente, de unos 150 años, no ha habido tiempo para que se den fenómenos climáticos extremos en forma de sequías intensas y duraderas, que hayan propiciado la extinción de la totalidad o de la mayoría de la ictiofauna.

Existe también la posibilidad de reintroducciones por parte de los humanos, translocando peces desde cuencas vecinas (Odiel, Guadalquivir, Piedras, Guadiana, ...) en el caso de que se hubieran producido extinciones locales. Si bien esto afectaría con más probabilidad a especies de interés para el

consumo humano, como el barbo o quizás la boga, pero difícilmente a las especies de pequeña talla y poco o nulo aprecio público, como calandinos, cachuelos, colmillejas o pardillas.

[7]
La anguila y la cohorte de peces que la acompañan en los cursos de agua litorales del occidente onubense

La anguila (*A. anguilla*) está catalogada "en peligro crítico" por la IUCN (Jacoby y Gollock, 2014). Es una especie muy sensible a diferentes perturbaciones antrópicas, especialmente a la contaminación de las aguas y al represado de los ríos, factor responsable de su desaparición de la mayor parte del territorio peninsular. Es también sensible a fenómenos a gran escala como el cambio global. Ambos grupos de factores han llevado a esta singular especie migradora al borde de la extinción. En el año 2013 por encargo de la Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía llevamos a cabo el estudio de la anguila en la provincia de Huelva, exceptuando el área de Doñana, con el fin de evaluar su estatus. Este estudio nos permitió conocer no solo la situación de esta especie, sino la de toda la cohorte de peces que la acompañan en los tramos fluviales que quedan aguas abajo de cualquier obstáculo que impida el flujo natural de las anguilas. Estos obstáculos eran de dos tipos: 1) presas y obras de regulación en general, barreras infranqueables para los peces y 2) las zonas afectadas por drenaje ácido de minas de las cuencas de los ríos Tinto y Odiel, un medio inhóspito para cualquier forma de vida macroscópica, con valores de pH en torno a 3 o inferiores. Por tanto, este estudio se ocupó esencialmente de los tramos más bajos de los ríos onubenses que drenan parte de su espacio litoral e incluyó al bajo Guadiana y a una serie de cuencas de menor entidad y dimensiones variables, entre las que destacan la del Carreras, la del Piedras, ambas con una superficie inferior a 1.000 km^2 y las del Odiel y Tinto. Cada uno de estos sistemas fluviales da lugar en sus desembocaduras a marismas y humedales de diferente entidad.

Distribución de la anguila en Huelva

Apenas existe información sistemática rigurosa sobre la distribución de la anguila en la provincia de Huelva. Se ha logrado una reconstrucción aproximada de la distribución a mediados del siglo XIX, a partir de la información registrada en el diccionario de Pascual Madoz (Menor y Prenda, 2004). Para una época más reciente la fuente principal es el Atlas y Libro Rojo de los Peces de España (Doadrio, 2001) aunque para su elaboración se usaron datos de presencia-ausencia recopilados a lo largo de más de 20 años. Por tanto, a los efectos de este trabajo su importancia debe ser secundaria.

La distribución de la anguila en el año 2012 en las cuencas occidentales de Huelva fue muy precaria. Se registró la especie en 15 localidades de un total de 31 (el 48% de las muestreadas) [TABLA 9-8]. Este es un valor muy bajo, inferior al del resto de Andalucía, a pesar de que el hábitat para la anguila en esta franja litoral se puede considerar propicio o muy propicio. Desde el punto de vista de su abundancia, los valores fueron igualmente bajos, si los comparamos con otros estudios [TABLA 9-8].

TABLA 09-8

Frecuencia de aparición de la anguila *(A. anguilla)* en las diferentes cuencas del litoral occidental onubense entre el otoño y el invierno del 2013. Las localidades con anguila (positivas) se dividieron entre las que poseían una abundancia muy escasa y las que son escasas. Ni una sola poseía abundancia media o alta.

Cuenca	muy abundantes	abundantes	escasas (%)	muy escasas (%)	nulas (%)	N
Guadiana	0	0	0 (0)	5 (56)	4 (44)	9
Carreras	0	0	0 (0)	0 (0)	3 (100)	3
Piedras	0	0	1 (17)	3 (50)	2 (33)	6
Odiel	0	0	0 (0)	2 (33)	4 (67)	6
Tinto	0	0	0 (0)	4 (57)	3 (43)	7

La abundancia de la anguila en el área de estudio no superó en ningún caso el nivel de "escasa" [TABLA 9-8]. Llama poderosamente la atención la baja frecuencia de aparición de la especie en las cuencas onubenses, especialmente en las del Carreras y en el bajo Guadiana, donde no se llegó a detectar su presencia. Este es un hecho muy llamativo dada la calidad del hábitat, como se ha referido antes.

La población de anguilas en el occidente onubense

En el conjunto de localidades estudiadas se capturó un total de 140 anguilas que, juntas, pesaron algo más de 8 kg [TABLA 9-9]. Teniendo en cuenta el gran esfuerzo de pesca aplicado (372 nasas y un total de 372 horas de pesca), los resultados fueron extraordinariamente bajos. Estos valores demuestran la situación crítica por la que pasa la especie en esta zona geográfica. Contrastan con estos resultados las referencias de Lozano Rey a la gran abundancia de anguilas en el área de estudio a mediados del siglo pasado (Lozano, 1956).

TABLA 09-9

Tabla 9. **Datos poblacionales de la anguila *(A. anguilla)*** en las diferentes cuencas del litoral occidental onubense en el año 2013. Se indica el número de localidades muestreadas por cuenca, la abundancia media de anguilas, expresada como capturas por unidad de esfuerzo (CPUE), el número total de individuos capturados (N), la biomasa total (g) y el rango de tallas.

Cuenca	localidades	Abundancia (CPUE±EE)	N	Biomasa total (g)	Rango tallas (Lt, mm)
Guadiana	9	0,42±0,18	44	1.783	137-710
Carreras	3	-	-	-	-
Piedras	6	0,35±0,26	39	2.979	105-680
Odiel	6	0,22±0,15	9	832	182-400
Tinto	7	0,68±0,33	48	2.431	120-582

Cohorte de especies piscícolas acompañantes de la anguila en el occidente onubense

La ictiofauna capturada durante los muestreos de anguila entre las cuencas del Guadiana y del Tinto en 2013 se indica en las Tablas 10, 11, 12 y 13. Un total de 22 especies de peces fueron registradas (1959 individuos, pertenecientes a 9 órdenes y 13 familias), de las cuales 15 (68%) fueron nativas y 7 (32%) exóticas. Destacó la familia de los ciprínidos con 6 especies nativas y 3 exóticas. En cuanto a las características del medio acuático, 13 especies (7 nativas y 6 exóticas) fueron de distribución primaria, es decir, estrictamente continentales y el resto se repartió entre las de distribución secundaria (más o menos tolerantes a los cambios de salinidad del agua) y las marinas propiamente dichas, siendo el sargo el único representante de este grupo.

TABLA 09-10

Abundancia relativa (CPUE, capturas en 6 pares de nasas/12 h) de las especies de peces capturadas en las localidades de la cuenca del Guadiana. Se indica entre paréntesis el número total de ejemplares capturados. Para los códigos de las localidades ver la Tabla 1.

	1001	1002	1003	1005	1006	1007	1008	1009	1010
NATIVAS									
A. anguilla	-	-	-	-	1,07 (14)	0,15 (1)	1,12 (13)	0,26 (4)	1,20 (12)
L. sclateri	-	-	-	-	0,61 (8)	-	3,02 (35)	0,77 (12)	0,50 (5)
L. comizo	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30 (3)
P. willkommii	-	-	-	-	0,23 (3)	-	1,12 (13)	-	-
S. pyrenaicus	-	-	-	-	-	-	-	0,51 (8)	-
I. alburnoides	-	-	-	-	-	-	-	1,41 (22)	-
C. paludica	-	-	-	-	0,08 (1)	-	0,09 (1)	0,51 (8)	-
A. boyeri	1,18 (9)	0,68 (8)	1,28 (12)	-	-	-	3,02 (35)	-	0,10 (1)
P. microps	4,08 (31)	20,84 (244)	10,67 (100)	-	-	-	-	-	-
D. labrax	-	-	-	-	-	-	0,09 (1)	-	-
L. ramada	-	0,17 (2)	0,43 (4)	-	-	-	0,69 (8)	-	0,50 (5)
EXÓTICAS									
A. alburnus	-	-	-	-	-	-	0,17 (2)	-	-
C. auratus	-	-	-	-	-	-	6,04 (70)	-	1,50 (15)
C. carpio	-	-	-	-	0,08 (1)	0,15 (1)	-	-	-
L. gibbosus	-	-	-	-	-	0,30 (2)	0,86 (10)	0,90 (14)	1,10 (11)
A. facetus	-	-	-	-	-	-	-	-	0,10 (1)
A. melas	-	-	-	-	0,15 (2)	-	0,60 (7)	-	0,40 (4)

Las especies más ampliamente distribuidas en el área de estudio fueron la anguila (15 localidades), el gobio (15) y el pejerrey (12), situación propia de tramos fluviales bajos cercanos a las desembocaduras. Le siguieron en importancia *L. ramada*, el barbo, la colmilleja y las exóticas pez sol y fúndulo, presentes entre 5 y 8 localidades. El resto de especies (13) ocupó tres o menos localidades.

En la cuenca del Guadiana, la de más riqueza de especies de las cinco estudiadas y la que contó con mayor penetración de exóticas, se capturaron 11 especies nativas y seis exóticas (35%) [TABLA 9-10]. La riqueza media de nativas por localidad fue de 3,3 especies y de 1,4 exóticas. Con este trabajo se registró por primera vez el pez gato en el Guadiana onubense, capturándose un total de 13 individuos distribuidos en el arroyo de Barcia Longa (01006), la ribera Grande de la Golondrina (01008) y el eje principal del Guadiana (01010) [TABLA 9-11].

TABLA 09-11

Abundancia relativa (CPUE, capturas en 6 pares de nasas/12 h) de las especies de peces capturadas en las localidades de las cuencas del Carreras y del Piedras. Se indica entre paréntesis el número total de ejemplares capturados. Para los códigos de las localidades ver la Tabla 7, para los de las especies la Tabla 10.

	CARRERAS			PIEDRAS					
	2011	2012	2014	3015	3016	3017	3018	3019	3020
NATIVAS									
A. anguilla	-	-	-	-	0,25 (2)	-	0,09 (1)	0,11 (1)	1,66 (35)
I. lemmingii	-	-	-	-	-	-	-	5,67 (52)	-
C. paludica	-	-	-	-	-	-	-	2,07 (19)	-
A. boyeri	0,10 (1)	-	0,13 (1)	0,17 (1)	-	0,08 (1)	-	-	-
P. microps	5,81 (56)	0,97 (8)	4,49 (34)	7,33 (44)	2,00 (16)	2,33 (28)	19,56 (229)	-	-
D. labrax	-	-	-	-	0,13 (1)	-	0,09 (1)	-	-
L. ramada	-	-	-	-	-	-	2,31 (27)	-	2,80 (59)
L. aurata	-	-	-	-	-	0,08 (1)	-	-	-
M. cephalus	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09 (2)
EXÓTICAS									
F. heteroclitus	-	-	-	-	-	0,08 (1)	0,51 (6)	-	4,46 (94)
L. gibbosus	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04 (22)

La única cuenca libre de especies exóticas fue la del Carreras, aunque también su riqueza fue muy pobre, con solo dos especies (gobio y pejerrey), ninguna de distribución primaria [TABLA 9-11]. La cuenca del Piedras fue la que tuvo una densidad media de capturas más alta, con 8,8 CPUE por localidad, casi todas debidas al gobio. Fue la segunda cuenca, tras la del Carreras, con menor penetración de exóticas (2 especies: fúndulo y pez sol, 18%) [TABLA 9-12].

TABLA 09-12

Abundancia relativa (CPUE, capturas en 6 pares de nasas/12 h) de las especies de peces capturadas en las localidades de la cuenca del Odiel. Se indica entre paréntesis el número total de ejemplares capturados. Para los códigos de las localidades, incluidas las coordenadas UTM, ver la Tabla 1.

	4021	4022	4023	4024	4025	4026
NATIVAS						
A. anguilla	-	0,37 (3)	-	0,92 (6)	-	-
L. sclateri	-	-	-	-	-	-
P. willkommii	-	-	-	-	-	-
I. alburnoides	-	-	-	-	-	-
C. paludica	-	-	-	-	-	-
A. boyeri	0,93 (12)	0,12 (1)	3,06 (39)	-	-	-
P. microps	1,85 (24)	0,75 (6)	5,41 (69)	1,23 (8)	-	-
D. labrax	-	0,12 (1)	-	-	-	-
D. sargus	0,08 (1)	-	-	-	-	-
L. ramada	-	-	-	0,15 (1)	-	-
EXÓTICAS						
C. auratus	-	-	-	-	-	-
C. carpio	-	-	-	-	-	-
F. heteroclitus	-	-	-	0,15 (1)	-	-
L. gibbosus	-	-	-	0,46 (3)	-	-
A. fallax	-	-	-	-	-	-

La cuenca del Odiel fue la que tuvo una menor densidad media de capturas, 2,6 CPUE, aunque la mayoría (el 96%) eran nativas [TABLA 9-12]. La cuenca del Tinto, con una comunidad marcadamente diferente de la del Odiel se caracterizó por una alta proporción de exóticas debido especialmente a la rivera de Nicoba [TABLA 9-13].

TABLA 09-13

Abundancia relativa (CPUE, capturas en 6 pares de nasas/12 h) de las especies de peces capturadas en las localidades de la cuenca del Tinto. Se indica entre paréntesis el número total de ejemplares capturados. Para los códigos de las localidades ver la Tabla 1.

	5027	5028	5029	5030	5031	5032	5033
NATIVAS							
A. anguilla	1,18 (9)	2,14 (24)	-	0,12 (1)	-	1,35 (14)	-
L. sclateri	-	-	-	0,37 (3)	2,64 (21)	0,10 (1)	-
P. willkommii	-	-	-	-	2,39 (19)	-	-
I. alburnoides	-	-	-	-	0,25 (2)	-	-
C. paludica	-	-	-	-	0,88 (7)	-	-
A. boyeri	-	-	-	-	-	-	-
P. microps	-	-	4,97 (38)	-	-	-	-
D. labrax	0,13 (1)	-	-	-	-	-	-
D. sargus	-	-	-	-	-	-	-
L. ramada	0,53 (4)	-	-	-	-	-	-
EXÓTICAS							
C. auratus	-	0,80 (9)	-	-	-	-	-
C. carpio	-	0,80 (9)	-	-	-	-	-
F. heteroclitus	2,24 (17)	-	-	-	-	9,43 (98)	-
L. gibbosus	-	-	-	-	-	-	-
A. fallax	-	-	-	-	-	0,10 (1)	-

[8] Peces de Doñana

Los peces de Doñana fueron muestreados por este grupo de investigación en solo dos ocasiones, en 2003 y 2007, ambas en dos lagunas del cordón peridunar (Santa Olalla y Dulce) y en la laguna artificial del Acebuche. En estos muestreos se capturaron cinco especies de peces, tres nativas (anguila, colmilleja y pejerrey) y dos exóticas (carpa y gambusia) [TABLA 9-14]. Aunque los datos de abundancia no son comparables entre los muestreos de 2003 y los de 2007, al incluir éstos últimos más artes,

se pone de manifiesto que se produjeron importantes cambios en la comunidad de peces que habita estos peculiares ecosistemas acuáticos, fundamentales en uno de los santuarios de la conservación en Europa. Toda la ictiofauna registrada en el Acebuche tenía un origen antrópico, siendo las especies capturadas deliberadamente introducidas, excepto, probablemente, la gambusia. En el caso de las lagunas de la Reserva Biológica, en Santa Olalla se llegó a capturar una anguila de gran tamaño. Es muy probable que esta especie migradora, con grandes capacidades dispersivas, en años de elevada pluviometría pueda colonizar esta laguna. No obstante, en el muestreo de 2007 no fue capturada, a pesar del extraordinario esfuerzo de pesca aplicado. Las otras dos especies registradas en este cuerpo de agua, carpa y gambusia son ambas exóticas. Del ciprínido se capturaron grandes ejemplares, alguno de más de 600 mm de longitud total y más de 2600 g de peso. En la laguna Dulce no se capturaron peces en 2003 y solo gambusias en 2007.

TABLA 09-14

Densidad de las especies de peces (CPUE) capturadas en tres cuerpos de agua de Doñana, en muestreos realizados en 2003 y 2007.

(1) capturas por unidad de esfuerzo (CPUE: nº individuos/1 par de nasas*12h); (2) CPUE: nº individuos/trasmallo*1 par de nasas*1 par de *minnow traps**1 par de trampas de botella* 12 h.

	ACEBUCHE	SANTA OLALLA		DULCE	
Especies	**2003 (1)**	**2003 (1)**	**2007 (2)**	**2003 (1)**	**2007 (2)**
NATIVAS					
A. anguilla	-	0,2	-	-	-
C. paludica	19,2	-	-	-	-
A. boyeri	0,2	-	-	-	-
EXÓTICAS					
C. carpio	-	1,8	0,6	-	-
G. holbrooki	6,8	10,7	51,3	-	15,1

En conjunto, se apreció una ictiofauna muy empobrecida, constituida mayoritariamente por especies foráneas que no aportan valor a este espacio emblemático. Antes bien, carpas y gambusias ejercen ambas un fuerte impacto sobre el medio acuático con evidentes repercusiones negativas sobre la biodiversidad que albergan. Las carpas por su efecto bioturbador y su capacidad de movilizar nutrientes y enturbiar las aguas impiden el normal desarrollo de macrófitas enraizadas en el sustrato. Las gambusias, por su parte, son potentes depredadores con capacidad de alterar significativamente las comunidades de invertebrados acuáticos.

[9]
La cuenca del Guadalquivir

En los años 2007 y 2008 se llevaron a cabo sendas campañas de muestreo en varias localidades de la cuenca del Guadalquivir en la provincia de Huelva. En la primera de ellas se estudiaron dos localidades del embalse de Aracena (Rivera de Huelva) y en la segunda tres tramos fluviales, dos en la propia Rivera de Huelva y uno en la Rivera del Cala. En estos muestreos se capturaron seis especies de peces, cinco nativas y una exótica, generando asociaciones ícticas relativamente empobrecidas [TABLA 9-15].

TABLA 09-15

Densidad de las especies de peces (CPUE) capturadas en cinco localidades de la cuenca del Guadalquivir, dentro de la provincia de Huelva, en muestreos realizados en 2007 y 2008. (1) capturas por unidad de esfuerzo (CPUE: nº individuos/1 par de nasas*12h); (2) CPUE: nº individuos/trasmallo*1 par de nasas*1 par de *minnow traps**1 par de trampas de botella* 12 h.

Especies	Rivera de Huelva (1)	Rivera de Huelva (1)	Rivera del Cala (1)	Embalse de Aracena 1 (2)	Embalse de Aracena 2 (2)
NATIVAS					
L. sclateri	225,00	52,50	84,00	5,14	2,58
P. willkommii				3,14	1,68
S. pyrenaicus			7,00		
I. alburnoides	151,81	80,50	119,00		
C. paludica		10,50	42,00		
EXÓTICAS					
M. salmoides					0,26

La especie más ampliamente distribuida fue el barbo, presente en todas las localidades muestreadas, mientras que el cachuelo solo se capturó en la Rivera del Cala. Llama poderosamente la atención la rareza de esta última especie y de la boga, ambas muy comunes en épocas relativamente recientes. También es destacable la poca presencia de exóticas, aunque en este caso se trata del blacbás, una especie con un elevado potencial invasor, capaz de alterar sustancialmente las comunidades nativas, no solo de peces, sino de otros vertebrados e invertebrados acuáticos.

[10]
Estado de conservación de los peces continentales en Huelva

La valoración global de los resultados aquí presentados, desde el punto de vista del estado de conservación de los peces continentales de la provincia de Huelva, ha de ser necesariamente pesimista, a pesar de la gran importancia, lamentablemente podríamos decir que histórica, de esta fauna paciente. Esta provincia sin salmónidos contiene originalmente un conjunto de especies muy rico. Hasta el año 2010, al menos 19 especies nativas de distribución primaria o secundaria (el 31% de las ibéricas) y, por desgracia, 9 especies exóticas (el 33% de las citadas hasta el presente en la península). Aunque si nos atenemos a los resultados aquí presentados y a los obtenidos por otros autores (Doadrio *et al.*, 2011b) el jarabugo, el extraordinario *Anaecypris hispanica*, se habría extinguido de este territorio al no haberse vuelto a capturar en las cuencas en las que llegó a alcanzar los valores de abundancia más altos de cuantos se hubo registrado alguna vez, la del Chanza y la del Múrtigas. Esperemos que este enigmático pececillo haga honor a su condición y vuelva a reaparecer en estos medios serranos tan biodiversos y antaño, tan bien conservados.

En la cuenca del Odiel, con una ictiofauna muy peculiar, es posible que se haya extinguido la boga (*P. willkommii*). Si esto se confirmara sería un drama terrible. Agravado por la condición especial de esta cuenca de medianas dimensiones muy afectada por el drenaje ácido de minas. No sabemos el grado de aislamiento genético de esta especie, ni las peculiaridades evolutivas que pudo haber alcanzado como consecuencia del mismo. En esta cuenca aún están pendientes algunas obras de regulación de gran impacto, así como la ampliación progresiva de la actividad minera que irá, inexorablemente mermando el hábitat acuático útil para los peces y otros seres que aún son incapaces de tolerar el veneno que destilan minas y escombreras.

La penetración de las especies ícticas exóticas, más o menos invasoras, no alcanza el grado de alarma ya registrado en otras áreas, donde van abundando más, incluso mucho más, que cualquier nativa (Ramos-Merchante y Prenda, 2018). Pero este proceso de dimensión planetaria se muestra inexorable y Huelva no podrá ser ajeno a él. Será cuestión de tiempo que las aguas continentales onubenses se vean abocadas a esta plaga propiciada directamente por la mano humana. Véase Doñana, el bastión de la conservación de la biodiversidad infectada de especies exóticas, incluso en sus ecosistemas más básicos y exclusivos, como son las lagunas del cordón peridunar de la Reserva Biológica.

La cuenca del río Tinto, sometida a una fragmentación longitudinal relativamente reciente, original y de consecuencias evolutivas desconocidas sobre los peces, es merecedora de más atención. Se trata de un auténtico laboratorio a escala ecosistémica donde evaluar los efectos del aislamiento sobre vertebrados longevos y fecundos, así como de unas condiciones ambientales muy difíciles para la vida acuática macroscópica que no es capaz de sustraerse a los efectos de la sequía.

Aparte de lo descrito, la combinación de grandes proyectos hidráulicos para proveer de agua a los cada vez más extensos e intensos cultivos agrícolas, con plásticos o sin ellos, de la provincia, junto con el auge reciente de la minería suponen una amenaza indiscutible para la salud de los ecosistemas acuáticos onubenses y para la biodiversidad que albergan. Quien sabe lo que nos depara el futuro. Pero pregunten a D. Luís Lozano Rey, allá donde esté, y si no lean sus trabajos escritos en la primera mitad del siglo XX, igual en ellos está la respuesta.

[11] Agradecimientos

Estos trabajos se llevaron a cabo con la participación, como becarios o contratados, de numerosos investigadores y técnicos, algunos miembros del grupo de investigación “Biología de las Aguas Epicontinentales” (RNM 324). Especialmente se agradecen las contribuciones de Miguel Clavero, Francisco Blanco Garrido, Virgilio Hermoso López, Adrián Ramos Merchante, Pedro Sáez Gómez, Antonia Rebollo Vega, Francisco J. Macías Fuentes, Juan Peña Ramos, Ángel L. Martín Ojeda, José Antonio Álvarez Robles, Clara Márquez Ruíz , Jerónimo Valle Rodríguez, Isabel Reyes Bárbara, Florent Prunier, Mª Luisa Hernández Cordero, Manuel Benavent, Begoña Díaz Rueda y Antonio Sánchez Astudillo.

[12] Bibliografía

- Almada, V.C.; Robalo, J.I.; Levy, A.; Freyhof, J; Bernardi, G.; Doadrio, I. (2009). *Phylogenetic analysis of peri-Mediterranean blennies of the genus Salaria: molecular insights on the colonization of freshwaters*. Molecular Phylogenetics and Evolution, 52: 424-431.
- Almeida, P.R. (1996). *Estuarine movement patterns of adult thin-lipped grey mullet, Liza ramada (Risso) (Pisces, Mugilidae), observed by ultrasonic tracking.* Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 202: 137-150.
- Berra, T.M. (2001). *Freshwater fish distribution*. Academic Press.
- Blanco, F; Clavero, M.; Prenda, J. (2009). *Jarabugo (Anaecypris hispanica) and freshwater blenny (Salaria fluviatilis): habitat preferences and relationship with exotic fish species in the middle Guadiana basin*. Limnetica, 28: 139-148.
- Cardona, L. (1996). *Microalgae selection by mullets (Mugil cephalus and Liza ramada) in Israeli semi-intensive fishponds*. Israeli journal of aquaculture-Bamidgeh 48: 165-173.
- Carmona, J.A; Sanjur, O.I; Doadrio, I; Machordom, A.; Vrijenhoek, R.C. (1997). *Hybridogenetic reproduction and maternal ancestry of polyploid Iberian fish: the Tropidophoxinellus alburnoides complex*. Genetics, 146: 983-993.
- Chícharo, A; Leitão, T; Range, P; Gutierrez, C; Morales, J; Morais, P.; Chícharo, L. (2009). *Alien species in the Guadiana Estuary (SE-Portugal/SW-Spain): Blackfordia virginica (Cnidaria, Hydrozoa) and Palaemon macrodactylus (Crustacea, Decapoda): potential impacts and mitigation measures*. Aquatic Invasions, 4: 501-506.
- Chícharo, L; Chícharo, M.A; Esteves, E; Andrade, P.; Morais, P. (2002). *Effects of alterations in fresh water supply on the abundance and distribution of Engraulis encrasicolus in the Guadiana Estuary and adjacent coastal areas of south Portugal*. J. Ecohydrol. Hydrobiol., 1: 195-200.
- Chícharo, M.A; Chícharo, L.; Morais, P. (2006). *Inter-annual differences of ichthyofauna structure of the Guadiana estuary and adjacent coastal area (SE Portugal/SW Spain): Before and after Alqueva dam construction*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 70: 39-51.

- Clavero, M; Blanco, F.; Prenda, J. (2005). *Fish–habitat relationships and fish conservation in small coastal streams in southern Spain*. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 15: 415-426.
- Closs, G.P; Angermeier, P; Darwall, W.R.T.; Balcombe, S.R. (2015). *Why are freshwater fish so threatened?* En: G. P. Closs, M. Krkosek, y J. D. Olden (Eds.), Conservation of freshwater fishes (pp. 37–75). New York, NY: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139627085
- Collares-Pereira, M.J; Cowx, I.G; Rodrigues, J.A; Rogado, L.; Moreira da Costa, L. (1999). *The status of Anaecypris hispanica in Portugal: Problems of conserving a highly endangered Iberian fish*. Biological Conservation 88: 207-212.
- Cowx, I.G; Young, W.O.; Hellawell, J.M. (1984). *The influence of drought on the fish and invertebrate populations of an upland stream in Wales*. Freshwater biology, 14: 165-177.
- De Diego, T; Martín, M.C; Cabello, D.; Fernández-Palacios, J.M. (2010). *Espacios fluviales sobresalientes de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía.
- Doadrio, I. (Ed.). (2001). *Atlas y libro rojo de los peces continentales de España*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Dirección General de Conservación de la Naturaleza.
- Doadrio, I; Perea, S; Garzon-Heydt, P; González J.L. (2011a). *Ictiofauna continental española. Bases para su seguimiento.* Dirección General del Medio Natural y Política Forestal, MARM, Madrid.
- Doadrio, I; Perea, S.; Pedraza-Lara, C. (2011b). *El jarabugo (Anaecypris hispanica, Steindachner, 1866): situación y estado de conservación*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Centro de Publicaciones.
- Esper, J; Frank, D.; Büntgen, U.; Verstege, A.; Luterbacher, J.; Xoplaki. E. (2007). *Long-term drought severity variations in Morocco*. Geophysical Research Letters 34(17): L17702. 17710.11029/12007gl030844.
- Esteves, E; Chícharo, M.A; Pina, T; Coelho, M.L.; Andrade, J.P. (2000a). *Comparison of RNA/DNA ratios obtained with two methods for nucleic acid quantification in gobiid larvae*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 245: 43-55.
- Esteves, E; Pina, T; Chícharo, M.A.; Andrade, J.P. (2000b). *The distribution of estuarine fish larvae: Nutritional condition and co-occurrence with predators and prey*. Acta Oecologica, 21: 161-173.
- Godinho, F.N; Ferreira, M.T.; Cortes, R.V. (1997). *Composition and spatial organization of fish assemblages in the lower Guadiana basin, South Iberia*. Ecology of Freshwater Fish, 6: 134-143.
- Hermoso, V; Blanco, F.; Prenda, J. (2008). *Spatial distribution of exotic fish species in the Guadiana river basin, with two new records*. Limnetica, 27: 189-194.
- IUCN. (2015). Freshwater fish diversity. http://www.iucnffsg.org/freshwater-fishes/freshwater-fish-diversity/
- Jacoby, D.; Gollock, M. (2014). *Anguilla anguilla*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e. T60344A45833138. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T60344A45833138.en. Downloaded on 11 February 2019.
- Lozano-Rey, L. (1935). *Los peces fluviales de España*. Memorias de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, Serie de Ciencias Naturales, 5, 387 pp.
- Luterbacher, J; Xoplaki, E; Casty, C; Wanner, H; Pauling, A; Küttel, M.; García-Herrera, R. (2006). *Mediterranean climate variability over the last centuries: a review*. Developments in Earth and environmental Sciences, 4: 27-148.
- Magalhães M.F. (1993). *Feeding of an Iberian stream cyprinid assemblage: seasonality of resource use in a highly variable environment*. Oecologia, 96:253-260.
- Matthews, W.J. (1988). *North American prairie streams as systems for ecological study*. Journal of the North American Benthological Society, 7: 387-409.

- Menor, A.; Prenda, J. (2004). *Aproximación a la distribución potencial de la ictiofauna fluvial en condiciones no transformadas, alejadas de la situación actual*. IV Congreso Ibérico de Limnología y XII Congreso de la Asociación Española de Limnología. Oporto (Portugal) 5-9 de julio de 2004. Póster.
- Nieto, J.M; Sarmiento, A.M; Olías, M; Cánovas, C.R; Riba, I; Kalman, J.; Delvalls, T.A. (2007). *Acid mine drainage pollution in the Tinto and Odiel rivers (Iberian Pyrite Belt, SW Spain) and bioavailability of the transported metals to the Huelva Estuary*. Environment International, 33: 445-455.
- Olías, M; Nieto, J.M; Sarmiento, A. M; Cerón, J. C.; Cánovas, C. R. (2004). *Seasonal water quality variations in a river affected by acid mine drainage: the Odiel River (South West Spain).* Science of the total environment, 333: 267-281.
- Olías, M.; Nieto, J.M. (2012). *El impacto de la minería en los ríos Tinto y Odiel a lo largo de la historia*. Revista de la Sociedad Geológica de España, 25(3-4), 177-192.
- Prenda J; Hermoso, V.; Blanco, F. (2010). *Impacto de los peces exóticos en los ríos de la provincia de Huelva*. En: Las Especies Exóticas Invasoras en Andalucía. Situación y Líneas de Acción. Sevilla. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Págs. 249-253.
- Prenda, J; Blanco, F; Hermoso, V; Clavero, M.; Menor, A. (2006b). *¿Son realmente importantes las especies exóticas en la conservación de los ríos ibéricos? el caso de los peces.* En C. A. Bragança (coord.). V Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de Aguas "Cuencas compartidas. Claves para la gestión sostenible del Agua y del Territorio". Área temática 1. Sub-tema 1.1.: 1-8. Edición electrónica. ISBN 989-20-0456-6.
- Prenda, J; Blanco, F; Macías, F.J; Peña, J; Hermoso, V; Martin, A.L.; Álvarez, J.A. (2005). *Vigilancia y control del medio natural del estuario del Guadiana. Ictiofauna, flora acuática y vegetación riparia del estuario del Guadiana: inventario de especies, distribución y propuesta de bioindicadores*. Informe Técnico para Ministerio de Medio Ambiente. CEDEX, Madrid.
- Prenda, J; Clavero, M; Blanco, F; Menor, A.; Hermoso, V. (2006a). *Threats to the conservation of biotic integrity in Iberian fluvial ecosystems*. Limnetica, 25: 377-388.
- Prenda, J; Ramos, A; Peña, J; Blanco, F; Palacios, A.E.; Sáez, P. (2011). *Biodiversidad y estado de conservación de los cursos de agua de la sierra de Huelva*. Actas de las XXVI Jornadas del Patrimonio de la Comarca de la Sierra: 31-54. Diputación Provincial de Huelva. Servicio de Publicaciones.
- Ramos-Merchante, A.; Prenda, J. (2018). *The ecological and conservation status of the Guadalquivir river basin (S Spain) through the application of a fish-based multimetric index*. Ecological Indicators, 84: 45-59.
- Rodríguez-Jiménez, A.J. (1987). *Relaciones tróficas de una comunidad íctica durante el estío en el Río Aljucén (Extremadura, España)*. Miscellània Zoològica, 11: 249-256.
- Ruiz, J; Polo, M.J; Diez-Minguito, M; Navarro, G; Morris, E.P; Huertas, I.E; Caballero, I; Contreras, E.; Losada, M.A. (2014). *The Guadalquivir estuary: A hot spot for environmental and human conflict.* En: Environmental Management and Governance: Advances in Coastal and Marine Resources, Coastal Research Library 8, C.W. Finkl & C. Makowski (eds.), Springer International Publishing Switzerland.
- Sá, R; Bexiga, C; Veiga, P; Vieira, L.; Erzini, K. (2006). *Feeding ecology and trophic relationships of fish species in the lower Guadiana River Estuary and Castro Marim e Vila Real de Santo Antonio Salt Marsh*. Estuarine, coastal and shelf science, 70: 19-26.
- Smith, K.G.; Darwall, W.R. (Eds.). (2006). *The status and distribution of freshwater fish endemic to the Mediterranean Basin* (Vol. 1). IUCN.
- Zettler, L.A.A; Gómez, F; Zettler, E; Keenan, B.G; Amils, R.; Sogin, M.L. (2002). *Microbiology: eukaryotic diversity in Spain's River of Fire*. Nature, 417: 137.



10

Los mamíferos en Huelva

Javier Calzada* |1|

Carlos Gutiérrez-Expósito || Jacinto Román |2|

Juan Quetglas |3|

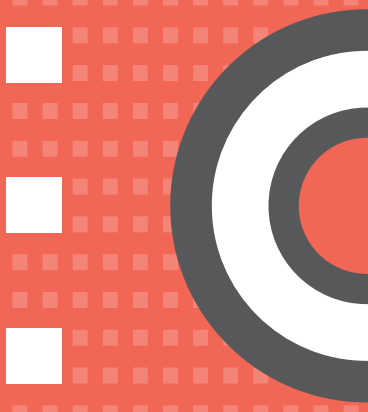
|1| Área de Zoología. Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales-Centro de Investigación RENSMA. Campus de Excelencia CeiMar. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España.

|2| Departamento de Biología de la Conservación. Estación Biológica de Doñana. CSIC, C/. Américo Vespucio 26, 41092, Sevilla, España.

|3| Murciélagos y Más. Urbanización El Señorío 25, 41807 Espartinas, Sevilla, España.

* Corresponding author | Dr. Javier Calzada Samperio || javier.calzada@dbasp.uhu.es

Tel.: +34 959 21 98 81 | +34 959 21 98 94 || Fax: +34 959 21 94 67



Los mamíferos en Huelva

Javier Calzada || Carlos Gutiérrez-Expósito || Jacinto Román || Juan Quetglas

RESUMEN

Entre los variados recursos de la provincia, Huelva destaca por su maravilloso patrimonio natural. La provincia de Huelva posee 23 espacios protegidos, entre ellos un Parque Nacional, dos Parques Naturales, ocho Parajes Naturales, un Paisaje Protegido, tres Reservas Naturales y una Reserva Natural Concertada. Entre todos los espacios protegen el 30% del territorio de la provincia de Huelva. El patrimonio natural de Huelva es famoso, entre otras cosas, por la rica cantidad de aves silvestres que crían e invernan en sus marismas, sobre todo en las del Parque Nacional de Doñana y en las del Paraje Natural de las Marismas del Odiel. Pero lo que es menos conocido es que Huelva es también rica y diversa en mamíferos. Como se relata en este capítulo, se han citado en la provincia hasta 72 especies distintas de mamíferos y 51 son comunes: seis especies de insectívoros, ocho especies de roedores, dos de lagomorfos, 19 especies de murciélagos, tres especies de ungulados, 10 de carnívoros y tres cetáceos. No en vano la provincia cuenta con seis áreas ZIM, Zonas Importantes para los Mamíferos de España: Sierra Morena Occidental, Andévalo y Cuenca Minera, Marismas de Isla Cristina y Ayamonte, Marismas del Río Piedras, Marismas del Odiel, Tinto y Estero de Domingo Rubio y Comarca de Doñana.

PALABRAS CLAVE

Mamíferos, biodiversidad, conservación, Huelva, Doñana.



Musaraña campesina *(Crocidura suaveolens)*
Paraje Natural de las Marismas del Odiel
FOTOGRAFÍA: Javier Calzada

[1] Insectívoros

Dentro de los insectívoros se engloban una serie de especies de pequeño tamaño y carnívoras, pues normalmente se alimentan de insectos. La provincia de Huelva no destaca especialmente por el número de especies pues sólo se encuentran 6 de las 14 especies presentes en la península ibérica.

El insectívoro de mayor tamaño es el erizo común (*Erinaceus europaeus*) [FIGURA 10-1]. Su característico cuerpo recubierto de púas hace que sea una especie inconfundible. Seguramente la ventaja evolutiva frente a sus depredadores que supone esa defensa natural hace que sea un animal de movimientos lentos y que muchas veces, en lugar de huir, se enrolle sobre sí mismo dejando al exterior una maraña de afiladas púas. Por desgracia esa defensa no resulta efectiva frente a las nuevas amenazas,

FIGURA 10-1

El erizo común (*Erinaceus europaeus*) es el insectívoro de mayor tamaño presente en Huelva

FOTOGRAFÍA: Jacinto Román



FIGURA
10-2

Las dos especies de musarañas del género Crocidura presentes en la provincia de Huelva.
Foto superior: **Musaraña de campo** (*Crocidura suaveolens*).
Foto inferior: **Musaraña gris** (*Crocidura russula*)

FOTOGRAFÍA: Luis Biedma





por lo que la forma más habitual de detectar la especie es localizando los ejemplares atropellados en las carreteras. Suele encontrarse en zonas agrícolas y próximas a asentamientos humanos y, en mucha menor medida, en zonas forestales.

Las dos siguientes especies por tamaño son el topo ibérico (*Talpa occidentalis*), especie de vida subterránea que habita en pastizales, y el musgaño de Cabrera (*Neomys anomalus*), especie semiacuática que vive asociada a cursos de aguas limpias. Ambas parecen distribuirse exclusivamente por las zonas montañosas del norte de la provincia, pero del musgaño tan sólo se conoce una observación publicada de un ejemplar depositado en la colección de la Estación Biológica de Doñana, capturado en los años 70 y procedente de El Mustio.

Las especies de musarañas de dientes blancos del género *Crocidura* son, seguramente, las especies más singulares de los mamíferos onubenses. En la provincia encontramos dos especies: la musaraña gris (*Crocidura russula*) y la musaraña de campo (*Crocidura suaveolens*). Son especies muy similares y difíciles de diferenciar sin experiencia previa [FIGURA 10-2A y FIGURA 10-2B]. La musaraña gris se encuentra ampliamente distribuida por prácticamente todos los ambientes y resulta localmente abundante. La musaraña de campo, por su parte, sólo habita en la vegetación que crece en la zona inundable por las mareas en las marismas costeras del Guadalquivir, Estero de Domingo Rubio, Tinto, Odiel, Piedras y Ayamonte-Isla Cristina (Biedma *et al.* 2019b).

Ambas tienen una historia en paralelo muy interesante. Durante el pleistoceno medio, en la Península sólo se encontraba la musaraña de campo y la musaraña gris habitaba el norte de África. Por razones que se desconocen, hace unos 125.000 años la musaraña gris consiguió atravesar el estrecho de Gibraltar y llegó a la península ibérica (Biedma *et al.* 2018). Cuando ambas especies se encontraron, comenzaron a competir entre sí y, en la mayor parte de los ambientes, la musaraña gris consiguió desplazar a la musaraña de campo. Este fenómeno se reflejó en la provincia de Huelva en un desplazamiento de la musaraña de campo hacia las marismas, donde el ambiente más húmedo le permite ser un competidor más fuerte frente a la musaraña gris, de origen africano y, por tanto, de requerimientos mucho más secos. Esta singular distribución de la musaraña de campo provoca un fuerte aislamiento tanto entre las poblaciones de las distintas marismas, como entre éstas con el resto de la distribución conocida de la especie, situada a más de 300 km al norte, en el Sistema Central (Biedma *et al.* 2018, Biedma *et al.* 2019a), lo que las convierte en poblaciones muy singulares, interesantes y amenazadas.

Por último, en Huelva encontramos también al mamífero más pequeños del mundo, la musarañita (*Suncus etruscus)* [FIGURA 10-3]. Su tamaño promedio en la provincia se sitúa en 1'7 g. Muy poco se conoce de esta especie. Parece tener una presencia ubicua y alcanzar mayores densidades en zonas de pastizales próximos a las marismas, como la vera de Doñana.

[2] Roedores

Los roedores son un grupo de especies de pequeño tamaño (< 250 gr), que pueden encontrarse en prácticamente cualquier lugar de la provincia. Entre sus características comunes, se encuentra la fuer-



FIGURA 10-3 | Con un peso medio de 1’7 gr la musarañita *(Suncus etruscus)* está considerado el mamífero más pequeño del mundo

FOTOGRAFÍA: Jacinto Román

te reducción en el número de dientes, teniendo sólo 2 incisivos, de crecimiento continuo, y 3 molares. Tan sólo el lirón careto (*Eliomys quercinus*), entre las especies presentes en la provincia, tiene además 1 premolar. Aparte del lirón careto, en este grupo se sitúan los ratones, ratas, ratas de agua y topillos.

La provincia de Huelva no destaca especialmente por el número de especies de roedores con los que cuenta, pues en ella sólo están presentes 8 de las 23 especies citadas en el territorio peninsular (Palomo *et al.* 2007) y, con diferencias en la abundancia local, todas ellas pueden encontrarse por toda la provincia. Aunque no suponen un grupo diverso, sí que destacan por su importancia como presas de multitud de carnívoros, ser importantes depredadores y sembradores de semillas, entre ellas las bellotas, y vivir en ambientes urbanizados o, incluso, dentro de los propios hogares humanos.

Las ratas son de las especies animales que mayor rechazo provocan entre las personas. En Huelva están presentes dos especies: la rata parda o de alcantarilla (*Rattus norvegicus*) y la rata negra o campestre (*Rattus rattus*). Ambas se suelen encontrar vinculadas a la presencia humana debido, sobre todo, a que aprovechan los residuos que generamos. Así, la rata parda es un habitante habitual de vertederos, alcantarillas, cloacas y otros lugares en los que abunden los desechos humanos, mientras que la rata negra es más arbórea y se encuentra asociada a la presencia de huertos con árboles frutales, olivares y viñedos, donde consume los frutos de las plantas cultivadas. Ambas especies pueden encontrarse también dentro de las viviendas humanas. Fuera de estos ambientes antropizados, la rata parda también resulta frecuente en las diferentes marismas y la rata negra puede encontrarse de forma habitual en el matorral mediterráneo y las dehesas.

Entre los ratones tenemos 3 de las especies más frecuentes en el territorio nacional. Una de ellas, el ratón doméstico (*Mus musculus*), vive de forma casi exclusiva en el interior de viviendas o construcciones humanas, siendo difícil encontrarlo fuera de estos ambientes. Las otras dos especies de ratones, el ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*) y el ratón moruno (*Mus spretus*), son habituales y abundantes en los ambientes naturales de la provincia. El ratón de campo suele ser más frecuente en zonas más forestales o de matorral alto, mientras que el ratón moruno ocupa más habitualmente las zonas agrícolas y menos forestales (matorrales y marismas). En la comarca de Doñana se ha descrito un cambio importante en la abundancia de ambas especies. Hace 30 años el ratón de campo resultaba más frecuente que el ratón moruno y actualmente el ratón de campo casi no se captura en las zonas de matorral siendo el ratón moruno mucho más abundante (Santoro *et al.* 2017). Las causas de este cambio no están claras, pero se han relacionado con el efecto del cambio climático, siendo los inviernos más secos y los veranos más calurosos, más favorables para el ratón moruno. De hecho, el ratón moruno parece ser una especie de origen africano que pasó a Europa hace ya varios miles de años, acompañando a los primeros navegantes del mediterráneo (Dobson 1998), por lo que puede verse favorecida por la africanización del sur de Europa. Además, también se ha descrito que, durante ese mismo periodo de tiempo, el ratón de campo ha sufrido una pérdida de tamaño corporal en Doñana, en torno a un 30% en peso (Docampo *et al.* 2018), que se ha relacionado con una pérdida de recursos en el monte.

Los topillos y ratas de agua forman un grupo particular dentro de los roedores conocido como microtinos. Al contrario que el resto de roedores de la provincia, estos presentan un crecimiento continuo de los molares, lo que nos está indicando una adaptación particular a una dieta rica en vegetales. En Huelva se encuentran dos especies: el topillo mediterráneo (*Microtus duodecimcostatus*) y la rata de agua (*Arvicola sapidus*). El topillo mediterráneo es una especie muy adaptada a la vida subterránea (cuerpo cilíndrico, orejas,

FIGURA 10-4

Las ratas de agua (*Arvicola sapidus*) del sur de Huelva viven en ocasiones en ambientes muy secos.

FOTOGRAFÍA: Jacinto Román



cola y extremidades cortas, incisivos adaptados a la excavación, tolerancia a altos niveles de hipoxia, etc.), que excava galerías, reconocibles en superficie por sus característicos montículos. Esta particularidad le lleva a buscar suelos con pocas piedras y estables, por lo que el arado de los cultivos, sobre todo de los cultivos cerealistas, hace que sea menos frecuente en estos ambientes.Las colonias están formadas por unidades familiares, normalmente una pareja con las crías y subadultos. Una vez los jóvenes llegan a adultos, salen a buscar un lugar donde establecerse, momento en el que son más vulnerables frente a los depredadores. Los adultos raramente salen al exterior, permaneciendo en la seguridad de sus galerías subterráneas, lo que hace que sea una de las especies de topillo más longevas que se conocen (2-3 años de edad máxima). Se alimentan básicamente de geófitos, bulbos, tubérculos y raíces, ayudando a la dispersión de estas especies.

La rata de agua [FIGURA 10-4] es la única especie de roedor, de las presentes en Huelva, incluido como Vulnerable en el Libro Rojo de Vertebrados Amenazados de Andalucía (Soriguer *et al.* 2001). Tradicionalmente se ha ligado su presencia a la cercanía de masas de agua estables, con abundante vegetación ribereña, principalmente macrófitos. En Huelva, y sobre todo en la comarca de Doñana, aparecen poblaciones que pueden sobrevivir durante años sin agua. Estas ratas de agua viven en pequeñas colonias dispersas por el monte, formando una metapoblación asentada en los vasos lagunares de las lagunas estacionales del manto eólico (Fedriani *et al.* 2002).

Por último, entre los roedores, el lirón careto es la única especie de lirón de la provincia. Es uno de los roedores más sencillo de identificar, pues presenta un antifaz negro y una larga cola terminada en un penacho de pelos. Es un habitante característico del monte mediterráneo y desarrolla su vida habitualmente subido a los árboles, pues presenta una gran habilidad para trepar. Esta especie fue muy estudiada a principios de los años 80, debido a su gran abundancia, en la Reserva Biológica de Doñana, pero ha sufrido un fuerte declive, siendo muy rara en la actualidad (Ruiz y Román 1999), aunque las causas de este declive no están claras.

[3] Lagomorfos

Dos especies de lagomorfos se pueden localizar la provincia de Huelva: el conejo (*Oryctolagus cuniculus*) y la liebre ibérica (*Lepus granatensis*). Ambas son especies muy conocidas y reconocibles al ser dos de las principales especies cinegéticas.

FIGURA 10-5

El conejo (*Oryctolagus cuniculus*) es una de las especies clave de los ecosistemas de Huelva.

FOTOGRAFÍA: Jacinto Román



El conejo [FIGURA 10-5] habita principalmente las zonas de matorral y agrícolas y suele evitar, u ocupar en baja densidad, las zonas más forestales. Es una especie clave en los ecosistemas mediterráneos, por su papel de presa de los carnívoros y como depredador y moldeador de la vegetación. Hasta mediados del s. XX era una especie abundante, pero ha sufrido un fuerte descenso en gran parte asociado a la llegada de dos enfermedades: la mixomatosis y la enfermedad hemorrágica. La llegada y evolución de ambas enfermedades se ha estudiado en detalle en la comarca de Doñana. La mixomatosis llegó a Doñana en agosto-septiembre de 1959 y se estimó que inicialmente mató al 90% de los conejos (Valverde 1960). La enfermedad hemorrágica aparece en Doñana en la primavera de 1990 causando una mortalidad estimada del 55% de los conejos (Villafuerte *et al.* 1994). Ambas enfermedades siguen presentes y son una de las causas que hipotecan actualmente la recuperación de los conejos.

La liebre ibérica se distribuye principalmente por los espacios abiertos, donde puede correr con facilidad. En Huelva se encuentra sobre todo en ambientes agrícolas y algunos años alcanza elevadas densidades en la vera y marismas de Doñana.

[4] Quirópteros

Contamos en la provincia de Huelva con 19 especies diferentes de murciélagos, siendo el orden de mamíferos más diverso. Están casi todas las especies andaluzas (que llegan hasta las 23) y una buena parte de las 31 ibéricas. Como grupo están presentes en todo el territorio, siendo unas especies ubicuas y otras de distribución restringida.

La especie más común con diferencia es el murciélago de Cabrera, (*Pipistrellus pygmaeus*). Como su nombre científico ya apunta, es el murciélago más pequeño de Europa. De costumbres fisurícolas [FIGURA 10-6] está muy vinculado a las construcciones humanas, ocupando con frecuencia tambores de persiana y conexiones de aire acondicionado que den acceso a la cámara aislante de los edificios, tejas, juntas de dilatación, cajas-nido... Cuando en un entorno urbano veamos un pequeño murciélago de vuelo zigzagueante se tratará casi seguro de esta especie. Es un cazador aéreo que busca presas voladoras como mosquitos.

Hay otras dos especies del género *Pipistrellus* muy parecidas. El murciélago enano (*Pipistrellus pipistrellus*) recibió ese nombre vulgar antes de que se supiera que bajo esa denominación se escondían dos especies crípticas: la nominal y otra, estadísticamente más pequeña aunque prácticamente idéntica, que recibió el nombre de murciélago de Cabrera porque el insigne zoólogo Ángel Cabrera la describió a principios del siglo XX, aunque luego se retractó al considerar que sus diferencias morfológicas entraban dentro de la variación normal de la especie nominal. El redescubrimiento de las dos especies a partir de fonotipos diferentes tuvo lugar en 1997 y, por tanto, todas las citas anteriores a ese año que hacen referencia a *Pipistrellus pipistrellus* han de ser asignadas al binomio *pipistrellus*/*pygmaeus*. Para la provincia de Huelva no se dispone de estudios genéticos que confirmen la presencia de *Pipistrellus pipistrellus,* pero parece razonable asumir su identidad en las capturas asignadas

morfológicamente a esta especie, por lo que optamos por incluirla en lista provincial. La tercera especie del género en la provincia es el murciélago de borde claro, *Pipistrellus kuhlii,* muy similar en todo a los demás, y también común por toda Andalucía.

Este grupo de murciélagos pequeños, fisurícolas y cazadores aéreos a poca altura se suele completar con una cuarta especie con afinidad por terrenos más agrestes y altos que sus compañeros, el murciélago montañero (*Hypsugo savii*), que falta en Huelva. La ausencia de esta especie con una distribución general amplia es llamativa y hace peculiar a la provincia.

Siguiendo con las especies fisurícolas, la segunda más fácil de ver es el murciélago hortelano pálido, *Eptesicus isabellinus*. Como todos los murciélagos fisurícolas onubenses es cazador aéreo. Su

FIGURA 10-6

Murciélago de Cabrera (*Pipistrellus pygmaeus*) en una rendija entre un tablón y la pared de una caseta en Doñana.

FOTOGRAFÍA: Jens Rydell, abril 2015



tamaño grande y el hecho de que salga de sus refugios cuando todavía hay bastante luz hacen que sea fácilmente visible cruzando por encima de las azoteas los cielos de la capital, ya que le gusta utilizar "shunts" (respiraderos) de edificios altos para refugiarse.

La quinta especie estrictamente fisurícola en Huelva es el murciélago rabudo, *Tadarida tenionis*, que, con una envergadura de 40-45 cm, es el segundo murciélago más grande de Europa. Su cola sobresale del patagio y la utiliza como extremidad sensitiva cuando se mueve hacia atrás dentro de las estrechas rendijas en las que se refugian.

Aunque los murciélagos fisurícolas son los más cercanos a la gente, de los que hay sin lugar a duda alguna colonia en todos y cada uno de los pueblos de Andalucía, y es fácil verlos volar cerca de nuestras casas, los más famosos son los cavernícolas. En el imaginario colectivo rápidamente se asocian los murciélagos con cuevas, catacumbas, mazmorras... a pesar de que sólo la mitad de las especies onubenses utilizan este tipo de refugios [TABLA 10-1]. Son los murciélagos ratoneros (género *Myotis,* cinco especies), los de herradura (género *Rhinolophus,* cuatro especies) y el único representante europeo de la familia Miniopteridae, el murciélago de cueva, *Miniopterus schreibersii*.

FIGURA 10-7

Murciélago mediano de herradura (*Rhinolphus mehelyi*) de El Andévalo con el color naranja que presentan algunos individuos del suroeste peninsular

FOTOGRAFÍA: José Manuel Méndez



TABLA 10-1

Catálogo de murciélagos de la provincia de Huelva, según su tipo de refugio diurno. Con asterisco se marca la especie de presencia anecdótica. En las especies con hábitos mixtos se indican con las iniciales: C: Cavernícola, Fi: Fisurícola, Fo: Forestal.

QUIRÓPTEROS

Tipo de refugio	Nombre vulgar	Nombre científico
Cavernícolas	1. Murciélago grande de herradura	*Rhinolophus ferrumequinum*
	2. Murciélago pequeño de herradura	*Rhinolophus hipposideros*
	3. Murciélago mediterráneo de herradura	*Rhinolophus euryale*
	4. Murciélago mediano de herradura	*Rhinolophus mehelyi*
	5. Murciélago ratonero grande	*Myotis myotis*
	6. Murciélago ratonero mediano	*Myotis blythi*
	7. Murciélago ratonero ibérico	*Myotis escalerai*
	8. Murciélago ratonero pardo	*Myotis emarginatus*
	9. Murciélago ribereño (C/Fi)	*Myotis daubentonii* (C/Fi)
	10. Murciélago de cueva	*Miniopterus schreibersii*
Fisurícolas	11. Murciélago enano	*Pipistrellus pipistrellus*
	12. Murciélago de Cabrera	*Pipistrellus pygmaeus*
	13. Murciélago de borde claro	*Pipistrellus kuhlii*
	14. Murciélago hortelano pálido	*Eptesicus isabellinus*
	15. Murciélago rabudo	*Tadarida teniotis*
Forestales	16. Nóctulo menor	*Nyctalus leisleri*
	17. Nóctulo mediano*	*Nyctalus noctula**
	18. Nóctulo grande	*Nyctalus lasiopterus*
	19. Murciélago ratonero forestal	*Myotis beschteinii*
	20. Orejudo gris (Fo/C)	*Plecotus austriacus.* (Fo/C)



FIGURA **10-8 |** **Nóctulo grande (*Nyctalus lasiopterus*) saliendo de su caja-refugio en Doñana**

FOTOGRAFÍA: Jens Rydell, abril 2015

Los murciélagos cavernícolas son los que utilizan como refugio cuevas, minas, túneles de tren abandonados, búnkers, bodegas... estructuras con un espacio grande donde se pueda volar y una entrada también grande. Al contrario que los fisurícolas, la mayoría no caza en cielo abierto, por lo que no son fáciles de ver en vuelo. Los del género *Myotis* cazan principalmente sobre superficies, como el murciélago ratonero grande (*Myotis* myotis) estudiado en Granada (Garrido 1997) donde se vio que, además de escarabajos del género *Rhizotrogus* y carábidos (sus principales presas en ese estudio), comía arañas, escolopendras del género *Lamyctes*, solífugos, orugas y adultos de lepidópteros y otras presas.

La detectabilidad de estos murciélagos es inversa a la de los fisurícolas: fáciles de ver dentro de su refugio, pero difíciles de ver volando. Los cavernícolas cuelgan del techo de sus refugios sin ocultarse y son muy gregarios, llegando a juntarse varios miles de individuos en una sola cueva tapizando parte del techo.

Este tipo de murciélagos tiene importantes poblaciones en toda la faja pirítica, aprovechando el recurso de refugio en las labores mineras abandonadas de las comarcas de El Andévalo, Cuenca Minera y Sierra de Huelva. Están presentes todas las especies andaluzas excepto el murciélago patudo (*Myotis capacinii*), de distribución circunmediterránea [TABLA 10-1]. Una de estas especies es el murciélago mediano de herradura (*Rhinolophus mehelyi*) considerado como "Vulnerable" en el Catálogo Español de Especies Amenazadas (Real Decreto 139/2011) pero en rápido declive, por lo que se está estudiando su catalogación como "En peligro de extinción" (SECEMU, 2017), categoría en la que ya figura a nivel andaluz (Decreto 23/2012). Mantiene sus mejores poblaciones en el cuadrante suroccidental de la península ibérica (sur de Portugal y las provincias de Huelva, Sevilla y Badajoz). Esta zona es peculiar también porque algunos individuos de esta especie presentan un marcado color naranja [FIGURA 10-7], como también ocurre en Cerdeña.

En este grupo también hay cambios en la nomenclatura de las especies: el murciélago ratonero ibérico (*Myotis escalerai*) es otra de las especies crípticas descubiertas recientemente gracias a las técnicas moleculares. Se descubrió en 2006 que, bajo el paraguas de la especie *Myotis nattereri,* había en realidad cinco especies diferentes (Ibáñez et al 2006, Puechmaille et al 2012). La única que está presente en Andalucía es *Myotis escalerai*, un endemismo ibérico-balear.

Y, por último, está el grupo de las especies de murciélagos forestales, que en Huelva lo constituyen los nóctulos (*Nyctalus* spp), el murciélago ratonero forestal (*Myotis beschteinii*), y el murciélago orejudo gris (*Plecotus austriacus*). Las especies forestales son las más esquivas ya que no son fáciles de ver en vuelo, como los fisurícolas, ni en sus refugios, como los cavernícolas. Su distribución está vinculada a zonas boscosas y sus poblaciones son pequeñas. En Andalucía sólo hay cuatro áreas de especial interés para los murciélagos forestales y una de ellas es la sierra de Aracena. El resto son: Cazorla-Segura-Las Villas-Castril-Huéscar (Jaén-Granada), y Alcornocales-Grazalema-Genal, Sierra de las Nieves (Cádiz-Málaga), y Sierra Quintana-Despeñaperros (Jaén). Aunque a estas zonas habría que añadir tres pequeños núcleos que albergan colonias reproductoras de nóctulo grande (*Nyctalus lasiopterus*): parques urbanos de Sevilla y Jerez de la Frontera y Doñana (Ibáñez et al 2012).

En Huelva hay cuatro especies forestales con poblaciones estables más una quinta de la que solo hay una cita en los últimos 100 años. En junio de 2016 se encontró una hembra preñada de nóctulo mediano (*Nyctalus noctula*) en una caja-refugio para murciélagos en Doñana (Nogueras et al 2016).

Era el primer registro de la especie en Andalucía después de más de un siglo desde la cita anterior. Se trata de un individuo aislado y fuera de contexto, pero no se puede descartar la presencia de algún pequeño grupo reproductor en Andalucía occidental.

Su congénere, el nóctulo grande, tiene una colonia de reciente creación en el Parque Nacional de Doñana instalada en algunos eucaliptos y una red de cajas-refugio específicas para murciélagos [FIGURA 10-8], en la única población de la provincia de Huelva. Es el murciélago más grande de Europa con casi medio metro de envergadura. Sus alas largas y estrechas le permiten un vuelo rápido con el que da caza a paseriformes transaharianos cuando migran de noche a gran altitud, sobre todo currucas (*Sylvia* spp.) y mosquiteros (*Phylloscopus* spp.) (Ibáñez et al 2016). En Doñana utilizando un radar militar se han detectado varias trayectorias atribuidas a nóctulos grandes que han subido a más de un kilómetro de altura, con el máximo de un ejemplar del que se perdió la señal a una altura de 1.737 m (Popa-Lisseanu, 2007). Cuando no caza pájaros se alimenta de insectos voladores, coleópteros, lepidópteros y dípteros. En Doñana se aprovecha de un recurso curioso: escarabajos acuáticos. Cuando los grandes ditiscos (*Cybister lateralimarginalis* y *Dytiscus circumflexus*) vuelan huyendo de una charca que se está secando a final del verano, son predados por el nóctulo grande. En ese mismo estudio se han detectado también las polillas *Mythimna unipuncta* y *Spodoptera littoralis*, plagas en los arrozales de la marisma del Guadalquivir. (Asensio-Cenzano 2014).

La tercera especie del género *Nyctalus* en Europa es el nóctulo menor (*Nyctalus leisleri*). La Sierra de Aracena parece contar con las poblaciones más numerosas de Andalucía (Ibáñez et al 2012), no encontrándose en ningún otro punto de la provincia.

Del género *Myotis* tenemos en este grupo *Myotis bechsteinii*, el murciélago ratonero forestal, que como su nombre en castellano ya indica está muy vinculado a zonas boscosas, en este caso a las manchas de caducifolios (castaños y melojos), bosques galería y alcornocal. (Ibáñez et al 2012).

El último incluido en la categoría forestal tiene unos requerimientos amplios y también habita en zonas poco boscosas y se resguarda en grietas. Es el reconocible orejudo gris, *Plecotus austriacus*, dotado de unas enormes orejas que repliega en reposo tomando el aspecto de unos cuernos de carnero.

[5] Ungulados

En Huelva hay dos especies de cérvidos, el ciervo (*Cervus elaphus*) y el gamo (*Dama dama*). Ambas especies son simpátricas y muy abundantes en El Condado, especialmente en Doñana. Los ciervos son comunes también en la Sierra de Huelva, El Andévalo y la Cuenca Minera, aunque, en muchas de estas zonas, su distribución está muy condicionada por la gestión cinegética que fragmenta y aísla manadas mediante mallados cinegéticos. En cambio, en el norte de la provincia hay pocos gamos, solo en algunos cotos de caza.

El ciervo [FIGURA 10-9] que hay en la península ibérica es distinguible genéticamente y diferente morfológicamente del resto de sus conespecíficos y por ello está asignado a la subespecie *Cervus elaphus hispanicus* (Carranza *et al.* 2003). Los ciervos de Huelva, al igual que el resto de ciervos que

FIGURA **10-9 |** **Un ciervo (*Cervus elaphus)* entre las dunas de Doñana**

FOTOGRAFÍA: Jacinto Román



viven en los montes mediterráneos del suroccidente peninsular, son pequeños comparados con los ciervos el norte de la Península y los centroeuropeos (los machos pesan 80-160 kg y las hembras 50-100 kg), y también son más grisáceos (Carranza 2017). De hecho, es probable que los ciervos ibéricos sean producto de la adaptación evolutiva a la vegetación de los montes mediterráneos, lo que podría explicar su alta abundancia en este tipo de ecosistemas (Carranza y Martínez 2002). Tanto en la Sierra como en Doñana, Huelva posee muchos lugares óptimos para disfrutar de uno de los acontecimientos naturales que más aficionados a la naturaleza reúne: la berrea. La época de celo del ciervo, la berrea, se centra en el mes de septiembre y es espectacular. Los machos braman para defender a los harenes de hembras que guarecen y ser los únicos que se reproduzcan con ellas. Braman para atraer a las hembras a los mejores lugares de alimentación y reproducirse con ellas y para alejar de allí a los otros machos. Y cuando las advertencias no tienen efecto, pelean a cornadas con los otros machos hasta expulsarlos o ser derrotados e irse. El amanecer y el atardecer son los mejores momentos para escuchar la berrea y ver los combates. Es también durante la berrea cuando se pueden ver a los machos reunidos con las hembras. El resto del año normalmente machos y hembras forman grupos aparte, los machos reunidos en grupos de individuos de la misma edad y las hembras en grupos familiares que pueden compartir espacio con otros grupos familiares y formar así grandes manadas (Carranza y Valencia 1992). Aparentemente, la abundancia de ciervos en el sur de la provincia está en aumento (CMAOT, 2017).

El otro cérvido presente en Huelva, el gamo, es un animal peculiar. Es perceptiblemente más pequeño que el ciervo (los machos pesan 85-100 kg y las hembras 35-50; Braza 2017) y tiene un pelaje más rojizo, en verano muy vivo y cuajado de manchas blancas. Pero, sin duda, el rasgo más distintivo son las cuernas de los machos, planas, en forma de pala, y únicas entre los cérvidos actuales aunque similares a las de alguno de sus parientes extintos como el megalocero (*Megaloceros giganteus*), el cérvido más grande que ha existido jamás. Como los megaloceros, el gamo también estuvo a punto de extinguirse durante la última glaciación. Por suerte, resistió en algún refugio del Mediterráneo oriental y luego, gracias a su atractivo aspecto, ha sido reintroducido desde la antigüedad en muchos lugares (Venero Gonzales 1984). De hecho, en Huelva, es probable que la especie haya desaparecido y se haya vuelto a reintroducir al menos dos veces. Después de que el gamo desapareciera de Doñana, y de casi toda Europa, la especie se reintrodujo en el s. XVI y se ve que fue objeto de aprovechamiento ganadero, además de cinegético, y se cuenta que en las marismas había “pastores de gamos” (Granados 1987). Una explotación cinegética abusiva parece ser la causa de que la especie desapareciese otra vez de Huelva en el s. XVIII hasta que a finales del s. XIX el Duque de Tarifa lo reintroduce de nuevo en Doñana y hasta hoy permanece presente (Granados 1987). La ronca, el periodo de celo del gamo, sucede en Huelva a finales de septiembre y en octubre. Quizás menos espectacular y sin duda menos conocida que la berrea, guarda con ella muchas similitudes. Los machos rugen para atraer a las hembras a sus territorios y para alejar de ellos a los demás machos, pero si los intrusos perseveran luchan contra ellos a cornadas (Braza 2017). El gamo es una especie más gregaria que el ciervo. En Doñana, los grupos mayores se ven en verano porque la sequía estival hace que los animales se agrupen en torno a los pocos lugares con agua y con pasto verde (Braza 2017). Entonces, como en otoño durante el celo, los grupos están constituidos por machos y hembras; en

cambio, durante el invierno y la primavera, los grupos suelen ser unisexuales y de menor tamaño (Braza 2017). A diferencia del ciervo, la población de gamos se mantiene bastante estable durante la última década (CMAOT, 2017).

El jabalí (*Sus scrofa*) es el tercer ungulado silvestre de la provincia. Su estructura corporal es similar a la del cerdo doméstico (del que es su antecesor silvestre) pero es más compacto, tiene el cuerpo cubierto de pelo largo y además es más alto de cuartos delanteros que de traseros. La cabeza es grande con unas orejas grandes, los ojos muy pequeños y el hocico terminado en trompa. Los jabalíes de Huelva deben ser de los jabalíes más pequeños que existen (media de peso 54 kg los machos y 44 las hembras; Venero Gonzales 1984). De hecho, con ejemplares de Huelva, de Doñana, se describió la subespecie de jabalí, *Sus scrofa baeticus* (Thomas, 1912) caracterizada por su pequeño tamaño y la ausencia de borra. Una particularidad de los jabalíes de Doñana es que hay algunos que son pintos, a manchas más claras y más oscuras. Se cree que esto se debe a la hibridación deliberada con cerdos domésticos, práctica que se conoce se lleva a cabo al menos desde el s. XVI (Granados 1987). Pero hay que tener en cuenta que más adelante, en el s. XIX, se cuenta que un administrador y propietario del Coto introdujo con éxito en Doñana cerdos domésticos, jabalíes del Atlas y jabalíes de "otra clase" provenientes de Guatemala (Morenés y Mariátegui 2005). Aunque de todo ello no hay muchas evidencias, el estudio de la genética de los jabalíes de Doñana puede ser muy interesante. Los jabalíes son nocturnos y normalmente difíciles de ver (salvo en Doñana, que no se asustan de la gente) [FIGURA 10-10].

Es una especie omnívora y generalista con un amplísimo espectro trófico y capaz de consumir casi cualquier alimento. En Doñana, por ejemplo, consume mucho rizoma de castañuela (Venero Gonzales 1984), pero come todo tipo de raíces, frutos, bellotas, hongos, pasta hierba, maíz y cereales, carroñea y depreda invertebrados, algún vertebrado y sus pollos y nidos (Fernández-Llario 2017). También generalista de hábitat, es capaz de vivir en casi cualquier sitio que le ofrezca alimento y refugio. El jabalí vive en grupos de composición y tamaño variable a lo largo del año entre los que destacan grupos solo de machos, grupos mixtos, sobre todo durante el apareamiento y gestación, y grupos de hembras adultas con o sin crías y con o sin hembras subadultas, que se forman sobre todo durante el periodo de paridera y crecimiento de los jabatos (Fernández-Llario *et al.* 1996).

Ciervos, gamos y jabalíes padecen y son reservorios de la tuberculosis bovina, una enfermedad causada por *Mycobacterium bovis* y otras micobacterias relacionadas con ella (Gortazar *et al.* 2012). En los estudios llevados a cabo en Doñana se ha encontrado que la prevalencia de la tuberculosis en estos ungulados silvestres es de las más altas conocidas en todo el mundo (Gortazar *et al.* 2008). Esto tiene graves implicaciones para la ganadería, para la salud humana e incluso para la conservación de las especies amenazadas como el lince, especie que se ha visto afectada por dicha enfermedad (Briones *et al.* 2000). Es necesario realizar actuaciones sanitarias para el control de la tuberculosis y manejos preventivos que disminuyan las tasas de contacto directas e indirectas entre ganado y ungulados silvestres.

Por último, habría que reseñar que en Huelva no hay poblaciones silvestres de corzos (*Capreolus capreolus*) ni de ningún bóvido silvestre. Eso sí, en varias fincas se han introducido muflones (*Ovis aries gmeli*) con fines cinegéticos.



FIGURA **10-10 |** **Una escena curiosa que solo se puede ver en Huelva, un jabalí (*Sus scrofa*) y un coquinero, ambos pescando coquinas e ignorándose mutuamente**

FOTOGRAFÍA: Carlos Gutiérrez-Expósito

[6]
Carnívoros

Todas las especies de carnívoros autóctonas de la península ibérica, salvo los armiños (*Mustela erminea*) y las martas (*Martes martes*), las hubo y/o las hay en Huelva. Dos de ellas ya no están. Los osos (*Ursus actos*), que se cazaban en las sierras de Huelva según aparece el Libro de la Montería de Alfonso XI, debieron desaparecer tras el Medievo y los lobos (*Canis lupus*) a mediados del s. XX. El último lobo de Doñana fue cazado en el año 1952 y el penúltimo en el año 1927 (Valverde 1967) [FIGURA 10-11]. Ambos debían proceder de las sierras onubenses, donde sin duda estuvieron presentes durante más tiempo, porque en Doñana la especie no criaba desde los años 20 (Miguel Delibes, comunicación personal).

El otro cánido silvestre, el zorro (*Vulpes vulpes*) es muy abundante en toda provincia. El zorro es un animal bien conocido por su enorme plasticidad ecológica, que le permite vivir en todo tipo de hábitats y alimentarse de un enorme espectro de presas y de otros alimentos como frutos y carroña (López-Martín 2010). Esta amplia versatilidad ecológica ha facilitado que se distribuya de forma casi continua por todo el holártico, debe ser parte de la causa de su éxito poblacional allá donde ha sido introducido (como en Australia) y también la razón de su alta densidad en muchos lugares. En Huelva, en Doñana, el zorro no siempre fue tan abundante. Quizás su abundancia estuvo en parte limitada por el lince ibérico (*Lynx pardinus*) hasta que la escasez de conejos hizo que la población de linces bajase y la del zorro aumentase (Rau *et al.* 1985).

El carnívoro más icónico de Huelva es el lince ibérico y es comprensible. La razón es que ni siquiera en el peor momento, cuando la especie estuvo a punto de extinguirse del planeta, el lince desapareció de la provincia. La población de linces de Doñana fue una de las dos únicas poblaciones que quedaban a finales del s. XX (la otra en Sierra Morena central, también en Andalucía).También fue en Huelva, en el Centro de Cría en Cautividad del Lince Ibérico, que está en El Acebuche, Almonte, donde se logró criar por primera vez a la especie en cautividad en el año 2005. Hoy en día, gracias a los programas de conservación in situ y ex situ de la especie, las otrora exiguas poblaciones de Andalucía han aumentado y hay nuevas poblaciones en Andalucía, Castilla La Mancha, Extremadura y Portugal (Simón, 2017). Los linces de Doñana son (o eran) distinguibles de los de Sierra Morena por su pelaje. En el último cuarto del s. XX todos los linces de Doñana eran linces de “mota gorda”, linces de color leonado intenso y con las manchas del pelaje muy gruesas [FIGURA 10-12]. También eran linces con muy poca diversidad genética (Casas-Marce *et al.* 2013) y por ello, siguiendo recomendaciones de gestión, la población de Doñana se ha reforzado con linces de Sierra Morena, linces con otros pelajes y que traen consigo genes distintos para evitar los posibles problemas de endogamia de la población onubense (Abascal *et al.* 2016).

Otra particularidad es que los linces de Doñana son la única población costera de linces. Por lo general, la especie habita en zonas montañosas de monte mediterráneo entre 400 y 1300 m de altitud (Rodríguez 2012). Por último, destacar que el lince ejerce de superdepredador de otros carnívoros de tamaño medio. Los linces matan (y no consumen) o bien desplazan a zorros, meloncillos, *Herpestes ichneumon*, ginetas, *Genetta genetta*, perros y gatos domésticos (Palomares *et al.* 1996). Lo hacen para reducir la competencia sobre su recurso trófico principal, el conejo (Delibes 1980). De hecho, los modelos sugieren que el número de conejos depredados en un lugar será menor si hay linces que si no los hay (Palomares *et al.* 1995).

FIGURA 10-11

Uno de los últimos lobos (*Canis lupus*) cazados en Doñana

FOTOGRAFÍA: Banco audiovisual del CSIC en Andalucía



La presencia del lince es una de la posibles razones aducidas para escasez del gato montés, *Felis silvestris*, el otro felino silvestre de la Península, en el sur de la provincia de Huelva (Soto y Palomares 2014). Aunque a decir verdad y aunque haya citas de gato montés por toda la provincia, en ninguna de las comarcas es abundante (Palomo et al 2007). Esta aparente baja abundancia del gato montés en Huelva puede deberse a que no se haya se haya hecho un estudio preciso sobre la especie aquí, y esté pasando desapercibida como ocurre en otros lugares (Lozano 2017). En principio, la provincia tiene numerosas zonas de hábitat adecuado para el gato montés (hábitats heterogéneos de matorral o bosque con zonas abiertas intercaladas; Lozano, 2017) y también la especie parece ser relativamente abundante en las comarcas adyacentes del Alentejo y el Algarve en Portugal (Bencatel et al 2017; Monterroso *et al.* 2009). Pero también puede que el declive que desde mediados del s. XX están padeciendo los conejos, una presa importante para el gato montés en la Península (Gil-Sánchez *et al.* 1999; Malo et al. 2004), sea la causa de que haya poco gato montés. Sería interesante estudiar el estado de conservación de esta especie en Huelva.

En la provincia de Huelva hay cinco especies de carnívoros mustélidos. Sobre dos de ellas, el turón (*Mustela putorius*) y la comadreja (*Mustela nivalis*), se conoce bien poco (no solo aquí, se las conoce también poco en el resto de la península ibérica). Ambas especies se distribuyen por toda la Península pero en el suroccidente parecen ser poco comunes (Palomo et al 2007). Hay citas de turón y de comadreja en todas las comarcas de Huelva, tanto en las costeras como en las serranas, pero en todas partes son muy escasas (Grupo de Carnívoros Terrestres-SECEM, 2001; Palomo et al 2007). Aunque hay ciertas dudas, el turón es probablemente el antecesor silvestre del hurón (*Mustela putorius furo*), un animal doméstico muy utilizado para cazar conejos. Es un carnívoro más bien pequeño (1.246 y 780 g de media, machos y hembras respectivamente; Arija 2010), largo y delgado y con una cola larga y peluda. Es de color marrón oscuro excepto la cabeza que es blanquecina pero tiene banda oscura que, a modo de antifaz, le cruza transversalmente la cara a la altura de los ojos. Sin ser un carnívoro ligado a los medios acuáticos como su congénere el visón (*Mustela lutreola*), y habiendo sido descrito viviendo en muchos tipos de hábitat distintos (Arija 2010), lo cierto es que el turón, en muchas ocasiones, parece ser más abundante en la cercanía de los arroyos. Esto también ocurre en las vecindades de Huelva, en el Alentejo, donde los turones prefieren lugares con arroyos o zonas húmedas y matorral (Mestre *et al.* 2007). En ambientes mediterráneos el conejo es importante en su dieta, al menos eso ocurre de nuevo en el Alentejo (Santos *et al.* 2009).

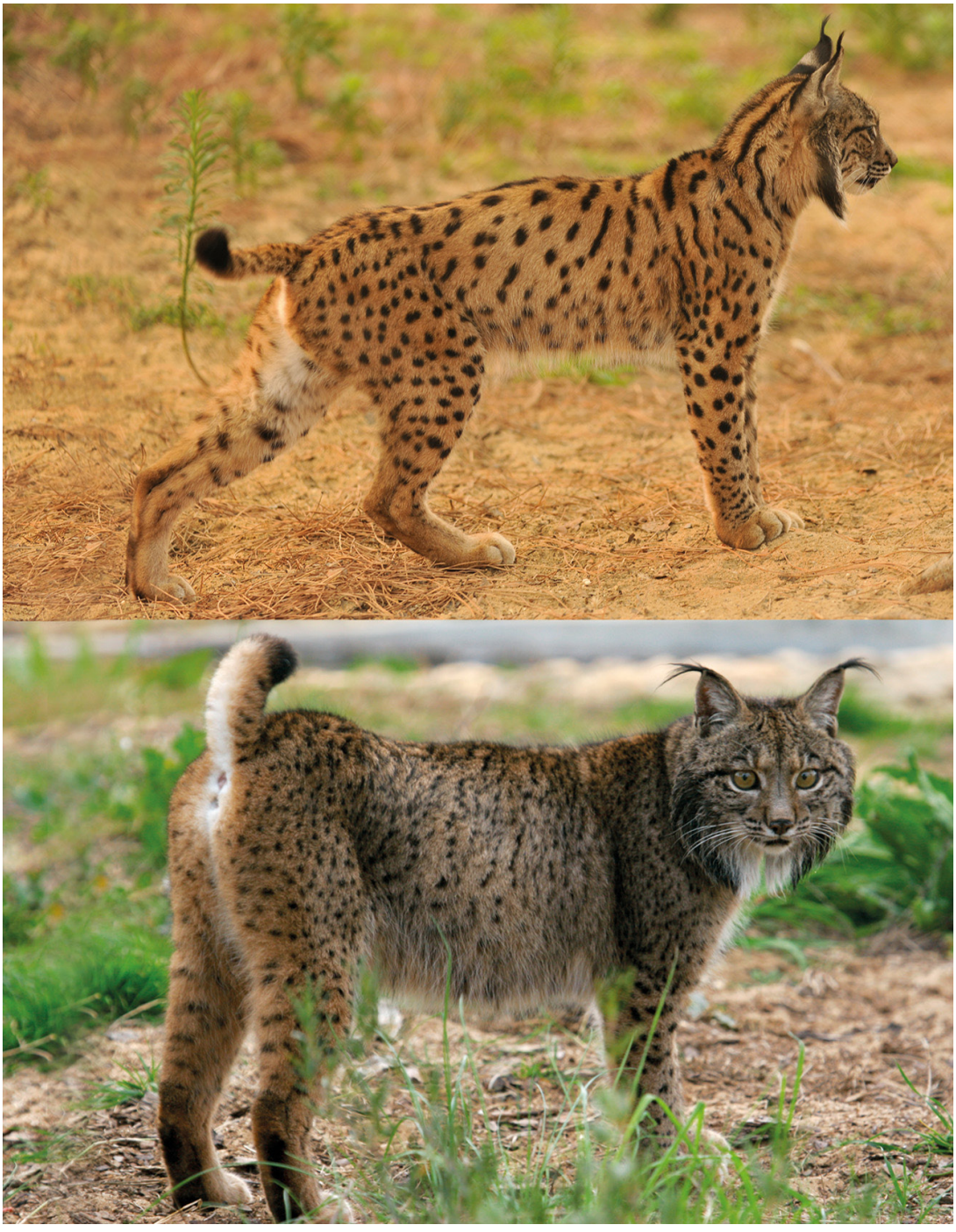
La comadreja, por su parte, es el carnívoro más pequeño del mundo. Es un minúsculo depredador (el peso varía entre los 92 y los 263 g en los machos y entre los 65 y los 91 g en las hembras; Palazón 2012) de cuerpo alargado y patas cortas. Son bicolores, el dorso marrón claro y el vientre blanco, y tienen la cola bastante corta y poco peluda. Las comadrejas son depredadores de micromamíferos. Al ser tan pequeñas (sobre todo las hembras) pueden perseguir y cazar a los roedores dentro de sus propios túneles y madrigueras. Pero también pueden cazar conejos (sobre todo los machos, que son mayores), invertebrados, reptiles, aves o consumir huevos (Palazón 2012). Capaz de vivir en un amplio abanico de hábitats, selecciona zonas con refugios (muros, matorrales, setos) y donde haya micromamíferos. Por ello quizás a veces se la encuentra cerca de granjas, casas y huertas.

Tampoco se sabe mucho sobre la garduña (*Martes foina*) en Huelva (algo más en otros lugares de la Península). Se sabe que no hay garduñas en el sur de la provincia de Huelva, que las hay en el An-

FIGURA 10-12

Lince ibérico (*Lynx pardinus*). En la foto superior uno con el pelaje típico de "mota gorda" de Doñana y debajo uno con el pelaje de "mota fina" que hay en Sierra Morena

FOTOGRAFÍA: Toñe Rivas



dévalo, la Cuenca Minera y en la Sierra de Huelva (Palomo et al 2007) y que en este último lugar la garduña parece relativamente más escasa que otros carnívoros simpátricos (Amaya-Castaño y Palomares 2018). La garduña es un carnívoro más bien pequeño (pesan de media en una zona mediterránea de la península ibérica, en la Sierra de Grándola, Portugal, 1.353 g y 1.057 g machos y hembras respectivamente; Rosalino *et al.* 2005), de color castaño oscuro excepto por un gran parche de pelo blanco, el babero, que se extiende desde la garganta hasta la parte anterior del vientre y un poco por las patas delanteras. Tiene una cola larga y muy peluda, que usa para equilibrarse cuando salta y se mueve entre los árboles. Es un mustélido muy forestal, aunque pueda vivir en otros hábitats (Mangas 2017). A veces también vive en la cercanía de pueblos y granjas. En Huelva se la encuentra principalmente en alcornocales (Amaya-Castaño y Palomares 2018).También los alcornocales son muy importantes para la especie en la Sierra de Grándola (Santos y Santos-Reis 2010) y en general, en la Península, es más común en bosques maduros (Pereira *et al.* 2012). Las garduñas consumen micromamíferos, pájaros, frutos (más que otros mustélidos), insectos y reptiles (Mangas 2017).

Más abundantes en Huelva son los otros dos mustélidos, el tejón (*Meles meles*) y la nutria (*Lutra lutra*). El tejón es un carnívoro de tamaño medio, aunque los tejones de Doñana están entre los tejones más pequeños que se conocen en el mundo (7'3 y 6'9 kg de media, machos y hembras respectivamente; Revilla *et al.* 1999). Su aspecto está bastante relacionado con su forma de vida excavadora. Son animales relativamente bajos y anchos, con el cuello grueso y los ojos y las orejas pequeñas. En las extremidades, pero sobre todo en las manos, tienen uñas largas y robustas que usan para excavar. Llama la atención el diseño del pelaje cefálico con la cara blanca surcada longitudinalmente por dos bandas negras que van desde el hocico a detrás de las orejas. Son animales muy nocturnos, lo que hace que pasen bastante desapercibidos pese a su tamaño y a ser animales sociales que a veces viven en grupos familiares grandes. Por ejemplo, en Doñana los grupos familiares, que no son muy grandes, están formados por el macho y la hembra reproductores más sus cachorros del año y en ocasiones algunos hijos más de camadas anteriores (Revilla y Palomares 2002b). En Doñana, los tejones son más abundantes en zonas con matorral y buena densidad de conejos, y especialmente apropiados para la especie parecen ser los lentiscares, que es donde prefieren ubicar sus madrigueras (Revilla *et al.* 2000; Revilla *et al.* 2001). Son unos generalistas tróficos que suelen buscar su alimento bajo tierra o a ras del suelo. Según lo estudiado en Doñana, su dieta varía entre estaciones y de año en año y se conoce que consumen (entre más cosas) conejos, invertebrados, frutos, hongos, reptiles y anfibios, según sea la disponibilidad de estos alimentos en cada momento (Revilla y Palomares 2002a).

La nutria es el carnívoro acuático por antonomasia [FIGURA 10-13]. Es un animal de tamaño medio (con un peso de 6 a 11 kg los machos y de 4'4 a 7 kg las hembras; Ruiz-Olmo y Jimenez 2008) pardo castaño con el vientre grisáceo. Como buen mamífero acuático sus ojos, oídos, ojos y orificios nasales están en la parte alta de la cabeza que es ancha y plana. Tiene más adaptaciones para nadar como membranas interdigitales en manos y pies y una cola robusta, ancha y aplanada en la base. Las nutrias viven en ríos, arroyos, lagos, lagunas, marismas y embalses pero también puede vivir en ambientes marinos como rías, estuarios y costas rocosas siempre que haya un lugar con agua dulce cerca donde quitarse el salitre (Ruiz-Olmo y Jimenez 2008). Es una especie principalmente consumidora de peces aunque en la península ibérica tienden a comer bastantes más cangrejos, reptiles o insectos que las del centro y norte de Europa (Clavero *et al.* 2008b). Se sabe que hay una relación negativa entre la

estabilidad de los cursos de agua y la presencia de peces en la dieta de nutria (Clavero *et al.* 2008a), lo que debe contribuir a que en el mediterráneo la dieta sea más diversa. En Huelva la nutria es abundante. En el muestreo nacional sobre la especie, llevado a cabo entre los años 2005 y 2006 (López-Martín y Jiménez 2008), Huelva fue la provincia andaluza con mayor porcentaje de cuadrículas UTM-10 km positivas para la especie, el 95'3% (Prenda y Palomo 2008). De hecho, Huelva fue una de las provincias donde la especie más había incrementado su distribución en 10 años. Hay nutrias en todas cuencas hidrográficas de Huelva, incluyendo las de ríos tan anómalos como el Tinto, un río de aguas ácidas y alto contenido en metales pesados. Hay nutrias en las marismas mareales del río Odiel. Incluso es común ver huellas de nutria por la playa, al pie del médano del Asperillo o cruzando el frente dunar de Doñana. El caño del río Guadiamar fue recolonizado por las nutrias en menos de un año después del derrame tóxico de 1998, a pesar de su toxicidad y de lo nocivo que resultaría para la especie por entonces (Delibes *et al.* 2009).

Además de todas estas especies de carnívoros, en Huelva hay dos especies de carnívoros introducidas desde hace mucho tiempo. La que lleva más tiempo entre nosotros es el meloncillo, una mangosta africana de la que hay restos arqueológicos en la península ibérica al menos desde tiempos de los romanos, en el s. I (Detry *et al.* 2018). Se supone que fue introducida por el ser humano con fines domésticos (Detry *et al.* 2018). Hay también quien sugiere, estudiando la filogeografía de la especie, que los meloncillos pudieron cruzar por su cuenta el Estrecho de Gibraltar en algún momento entre el Pleistoceno medio y el tardío (Gaubert *et al.* 2011), aunque no haya, de momento, registros prehistóricos de la especie en la Península que lo avalen. El meloncillo es una mangosta de entre 2 y 3'7 kg, grisácea oscura, con los ojos y las orejas pequeñas y una cola muy larga, ancha en la base y terminada en mechón de pelos largos y negros (Palomares 2012). Es un carnívoro bastante social y diurno. Varios meloncillos pueden compartir madriguera y campear juntos en grupos de hasta 5 o 6, aunque lo más común es verlos solos o en parejas (Palomares y Delibes 1993b). Es un depredador generalista que puede alimentarse de micromamíferos, conejos, aves, insectos, anfibios, reptiles y crustáceos, pero también de carroña, frutos y setas (Palomares 1993; Palomares 2012). El meloncillo en Huelva prefiere vivir en lugares con elevada cobertura vegetal, tiene especial preferencia por los arroyos y las zonas húmedas con vegetación densa y evita las zonas abiertas (Palomares y Delibes 1993a). Es de resaltar que en Huelva se ha encontrado que la abundancia de meloncillos puede ser hasta 10 veces inferior en áreas con linces que en áreas similares sin linces (Palomares *et al.* 1996; Palomares *et al.* 1998).

El otro carnívoro introducido es la gineta. Los restos arqueológicos más antiguos de ginetas en la Península son del s. XIII (Delibes y Carrasco-Rus 2015; Morales 1994), aunque los estudios genéticos apuntan a que la especie se introdujo en Europa en varias ocasiones de forma independiente y antes (Gaubert *et al.* 2015). Se cree que las ginetas fueron introducidas como animales domésticos para controlar los roedores. La gineta es un vivérrido esbelto (de entre 1'5 y 2'1 kg de peso; Calzada 1998) con el cuerpo ocre cuajado de manchas oscuras y grandes que tienden a unirse formando líneas longitudinales por los laterales y el dorso del cuerpo. En la cara, a cada lado del hocico y por delante de los ojos, tiene una mancha oscura bordeada de blanco muy característica y, además, tiene una llamativa cola larga y anillada. Es destacable que en España y Portugal (y no en su rango de distribución original, en África) se han descrito muchos casos de melanismo, alguno de albinismo y también otros casos de ginetas rojizas o grisáceas, cuyo origen se piensa que ha podido tener que ver con la



FIGURA **10-13 |** **La nutria (*Lutra lutra*) es uno de las especies más representativas de la comunidad de carnívoros de Huelva. En la imagen comiéndose una anguila**

FOTOGRAFÍA: Carlos Gutiérrez-Expósito

crianza y selección peletera de estos animales durante la Edad Media (Delibes *et al.* 2013). Es un carnívoro solitario y nocturno (Palomares y Delibes 1994). Consume principalmente roedores, aunque su dieta puede ser flexible y oportunista: cazan aves, mamíferos hasta del tamaño de una liebre, reptiles, anfibios, invertebrados y consumen frutos, hierba y huevos (Calzada 1998). La gineta en la Península vive en todo tipo de formaciones boscosas y forestales y, en general, en cualquier tipo de hábitat que le proporcione suficiente cobertura vegetal o rocosa (Calzada 1998; Camps 2012; Larivière y Calzada 2001). En Doñana, en concreto, usa mucho las fresnedas y las zonas de matorral denso (Palomares y Delibes 1988; Palomares y Delibes 1994), y en la Sierra de Huelva se ha visto que es capaz de vivir en áreas humanizadas (Amaya-Castaño y Palomares 2018).

Por último, hay que contar que en Huelva hasta ahora no ha habido cita alguna de visones americanos (*Neovison vison*), especie invasora y extendida en otros lugares de la Península, pero sí que ha habido recientemente un pequeño núcleo de mapaches (*Procyon lotor*) en el Condado de Huelva y en Doñana (Fernández-Aguilar *et al.* 2012), probablemente procedentes de un escape de un particular que los tenía como mascotas y que fueron capturados y retirados del campo para evitar su expansión y los daños subsiguientes al medio ambiente.

[7]
Los mamíferos marinos

La provincia de Huelva se encuentra bañada por las aguas de la sección occidental del golfo de Cádiz. Cuenta con 110 kilómetros de costa que van desde la desembocadura del Guadiana en la frontera con Portugal por el oeste hasta el estuario del Guadalquivir en el límite de la provincia de Cádiz por el este. Se trata de una costa lineal conformada por una continuidad de playas, de reciente formación, apenas interrumpidas por las desembocaduras de los ríos Carreras, Piedras y Odiel (Villalobos y Pérez 2008, Rodríguez-Ramírez *et al.* 1997). Las aguas marinas de la provincia de Huelva se caracterizan por ser muy poco profundas. En general, es necesario alejarse a más de 10 millas de la costa para superar los 100 metros de profundidad. Los fondos son arenosos y cargados de sedimentos de aporte fluvial, en especial de los grandes ríos Guadiana y Guadalquivir (Rodríguez 1996). Estas aguas son, por tanto, muy ricas en nutrientes y dan cobijo a una variada fauna marina y un rico banco de pesca para las flotas de los puertos de Chipiona, Bonanza, Huelva, Punta Umbría, El Terrón, Isla Cristina y Ayamonte (Silva *et al.* 2002).

Dado el alto valor ecológico de estas aguas y la importancia de sus recursos pesqueros, buena parte del sector onubense del golfo de Cádiz se encuentra protegido por diferentes figuras de protección de la Red Natura 2000. Por su importancia para las aves marinas, 2314,20 km^2 de sus aguas han sido declaradas Zona de Especial Protección para las Aves (Ayala *et al.* 2014). En aguas más profundas, y dada la peculiaridad de los volcanes de metano existentes, 3174,83 km^2 más han sido declarados Lugar de Interés Comunitario (Díaz del Río *et al.* 2014). En este sentido, el Espacio Natural de Doñana, no sólo protege zonas de marisma y bosque mediterráneo, sino que se adentra hasta una milla marina en el mar a lo largo de toda su costa, con lo que cerca de 50000 hectáreas de aguas cos-

teras se encuentran protegidas por la más alta figura de protección: Parque Nacional (García Canseco 2002). Por último, y no menos importante, cerca de 400 km^2 de las aguas marinas y del tramo bajo del Guadalquivir se hayan incluidos en la Reserva de Pesca del río Guadalquivir.

Entre los muchos valores naturales de la provincia de Huelva, pocas veces se pone de manifiesto el valor ambiental de su medio marino, más allá de la importancia de sus recursos pesqueros. Sin embargo, en estas aguas existen importantes comunidades de tortugas (Camiñas 2002, Camiñas 2005, Bitón 2009), aves (Báez *et al.* 2007, Ramírez *et al.* 2015) y mamíferos marinos Báez *et al.* 2007, Gutiérrez-Expósito *et al.* 2012). A partir de la recopilación de Gutiérrez-Expósito *et al.* (2012) y de los datos presentes en las memorias anuales del Espacio Natural de Doñana y de los informes del Plan de Gestión Sostenible del Medio Marino Andaluz de la Junta de Andalucía, podemos afirmar que sólo existen tres especies de cetáceos de forma estable en las aguas costeras de Huelva, pero se han citado en la provincia hasta un total de 20 especies de mamíferos marinos pertenecientes a dos órdenes y siete familias [TABLA 10-2]. Las especies residentes de forma estable son el delfín mular (*Tursiops truncatus*), el delfín común (*Delphinus delphis*) y la marsopa (*Phocoena phocoena*). El resto de especies o bien son especies migratorias cuyas áreas de distribución más cercanas están en aguas profundas del Atlántico oriental, o bien son especies de zonas aún más lejanas y cuya aparición en esta zona es rara u ocasional.

El delfín mular es, sin duda, el más abundante y conocido de los cetáceos onubenses [FIGURA 10-14]. Esta especie presenta dos ecotipos bien diferenciados. Uno, delfines grandes y oscuros que viven en aguas oceánicas profundas y otro, delfines pequeños y claros que viven en aguas costeras y son los que normalmente se ven desde tierra o desde embarcaciones deportivas, comportándose principalmente como sedentarios (Giménez *et al.* 2016).

El delfín mular es el delfín de mayor tamaño, alcanzando hasta los 3,8 metros y un peso de más de 600 kg, siendo los machos algo mayores que las hembras. La subespecie nominal (ssp. *truncatus*) se distribuye de forma global en aguas templadas y tropicales de todo el mundo, mientras que la población del mar Negro (ssp. *ponticus*) se considera aislada (Jefferson *et al.* 2008, Wilson y Mittermeier 2014). Aunque a nivel mundial se considera de "preocupación menor" por la IUCN (Hammond *et al.* 2008), está catalogado como "Vulnerable" en los catálogos español (RD 139/2011) y andaluz (D 23/2012) y recogido en los anexos II y IV de la Directiva Hábitats (92/43/CEE). Este delfín puede ocupar una gran variedad de medios marinos que van desde las aguas profundas oceánicas a los estuarios y desembocaduras de ríos, aunque mayormente se encuentran en aguas de la plataforma continental. Es un predador generalista que se alimenta de peces, cefalópodos y crustáceos, para lo que pueden llegar a usar estrategias adaptadas a circunstancias locales como son la pesca cooperativa, el aturdimiento de los peces con golpes de las aletas, o la persecución de peces en los estuarios hasta dejarlos varados (Wilson y Mittermeier 2014). En el golfo de Cádiz la dieta es básicamente piscívora, siendo las especies más importantes el congrio, la merluza, las lisas y las cintas (Giménez *et al.* 2017b). La reproducción puede darse a lo largo de todo el año y se produce cada 3-6 años. La gestación está en torno a los 12 meses, y el periodo de lactancia hasta año y medio, por lo que las hembras pueden estar ocasionalmente lactando y preñadas al mismo tiempo. Las crías al nacer miden entre 95 y 134 cm (Wilson y Mittermeier 2014, Connor *et al.* 1999). En el pasado la mayor causa de mortalidad era la persecución directa, debido a una pretendida competencia por los recursos pesqueros con el ser

TABLA 10-2

Catálogo de mamíferos marinos citados en todo el golfo de Cádiz. Se indica el número de observaciones o varamientos registrados en la provincia de Huelva entre 1986 y 2016. Con un asterisco están indicadas las especies tienen poblaciones estables en la zona.

CETÁCEOS

Familia	Nombre vulgar	Nombre científico	Varamientos en Huelva
Balaenopteridae	Rorcual común	*Balaenoptera physalus*	8
	Rorcual aliblanco	*Balaenoptera acutorostrata*	17
	Rorcual tropical	*Balaenoptera edeni*	1
	Yubarta	*Megaptera novaeangliae*	5
	Ballena no identificada	*Balaenopteridae*	1
Physeteridae	Cachalote	*Physeter macrocephalus*	1
Kogidae	Cachalote enano	*Kogia sima*	2
	Cachalote pigmeo	*Kogia breviceps*	3
Ziphiidae	Zifio de Gervais	*Mesoplodon europaeus*	4
	Zifio de Blainville	*Mesoplodon densirostris*	3
	Zifio de Sowerby	*Mesoplodon bidens*	0
	Zifio de Cuvier	*Ziphius cavirostris*	1
	Zifio no identificado	*Ziphiidae*	2
Delphinidae	Orca	*Orcinus orca*	0
	Calderón de aleta larga	*Globicephala melas*	3
	Calderón gris	*Grampus griseus*	4
	Orca bastarda	*Pseudorca crassidens*	0
	Delfín mular*	*Tursiops truncatus*	96
	Delfín listado	*Stenella coeruleoalba*	42
	Delfín común*	*Delphinus delphis*	36
	Delfín común/listado	*Delphinus/Stenella*	26
Phocoenidae	Marsopa*	*Phocoena phocoena*	50

PINNÍPEDOS

Phocidae	Foca monje	*Monachus monachus*	0
	Foca de casco	*Cystophora cristata*	3
	Foca gris	*Halichoerus grypus*	0
	Foca común	*Phoca vitulina*	2

FIGURA 10-14

Delfín mular (*Tursiops truncatus*) frente a las costas de Doñana

FOTOGRAFÍA: Carlos Gutiérrez-Expósito



humano. Actualmente algunas amenazas son la mortalidad por captura incidental, la reducción de presas por la sobrepesca y la degradación del medio marino. Sin embargo, el caracter oportunista de la especie y la flexibilidad de su comportamiento, pueden ayudar a esta especie a sobrellevar estas amenazas (Bearzi *et al.* 2009).

Al igual que el delfín mular, el delfín común cuenta con una subespecie endémica del mar Negro y de igual nombre que la del mular (ssp. *ponticus*), mientras que la subespecie nominal (ssp. *delphis*) se distribuye por mares de todo el planeta. Se trata de un delfín de pequeño tamaño de entre 160 y 230 cm, siendo los machos ligeramente mayores que las hembras. Se caracterizan por presentar el dorso de color negro con los flancos adornados por una mancha en forma de reloj de arena que es amarillenta en la parte anterior del cuerpo y gris en la posterior. La aleta dorsal es de color negro y habitualmente presenta una mancha amarillenta de extensión variable (Jefferson *et al.* 2008, Wilson y Mittermeier 2014). Se considera de "Preocupación menor" a nivel mundial (Hammond *et al.* 2008). Sin

embargo, la población del Mediterráneo se considera "Vulnerable" tanto en el catálogo español (RD 139/2011) como en el andaluz (D 23/2012). Se recoge en el anexo IV de la Directiva Hábitats (92/43/CEE). Los delfines comunes habitan normalmente en aguas profundas y es raro encontrarlos en zonas de menos de 200 m de profundidad. Así, en Andalucía los encontramos cerca de la costa en zonas donde la plataforma continental es reducida, como en el mar de Alborán, bahía de Algeciras, el estrecho de Gibraltar o el sector gaditano del golfo de Cádiz, normalmente en aguas de entre 100 y 400 m de profundidad (Giménez *et al.* 2017a, de Stephanis *et al.* 2008, Cañadas *et al.* 2005). Sin embargo, en la provincia de Huelva, y debido a la gran extensión de la plataforma continental, no encontramos a esta especie hasta los 100 m de profundidad, lo que los sitúa en general a no menos de 12 millas de la costa. La dieta se basa en pequeños peces mesopelágicos como sardinas y boquerones. En el Mediterráneo andaluz los componentes más importantes de la dieta son pequeños mictófidos del género *Ceratoscopelus*, seguido de bogas y sardinas (Giménez *et al.* 2018). Los partos se concentran habitualmente en primavera y verano, pudiendo las hembras reproducirse cada 1-3 años. La gestación dura entre 10 y 12 meses, dando lugar al nacimiento de pequeñas crías de 80-90 cm de longitud (Jefferson *et al.* 2008, Wilson y Mittermeier 2014). Como en otros cetáceos, el declive del delfín común en el Mediterráneo se ha relacionado con la reducción de presas debido a la sobrepesca, la contaminación por químicos xenobióticos que pueden inducir la inmunosupresión, el incremento de la temperatura del agua, que produce cambios ambientales en el medio marino y la captura incidental en artes de pesca (Bearzi *et al.* 2003).

La marsopa es el cetáceo de menor tamaño del Atlántico norte, con una longitud media en torno al metro y medio, siendo las hembras algo mayores que los machos. El peso oscila entre los 45 y los 75 kg. Normalmente habitan las aguas poco profundas de la plataforma continental, en ocasiones muy cerca de la costa. Existen tres subespecies por aguas del hemisferio norte: una en el Pacífico (ssp. *vomerina*), otra en el Atlántico (ssp. *phocoena*) y otra en el mar Negro (ssp. *relicta*) (Jefferson *et al.* 2008, Wilson y Mittermeier 2014). Es más es abundante en aguas más norteñas, siendo precisamente el área de distribución estable más meridional del Atlántico la del golfo de Cádiz y la costas de Marruecos. Aquí son muy escasas y las observaciones siempre son de ejemplares aislados o hembras acompañadas por sus crías (Boisseau *et al.* 2007). Está considerada de "Preocupación menor" a nivel global (Hammond *et al.* 2008). Se recoge en los anexos II y IV de la Directiva Hábitats (92/43/CEE) y se considera "Vulnerable" tanto en el catálogo español (RD 139/2011) como en el andaluz (D 23/2012). Ocupa aguas de la plataforma continental, encontrándose rara vez en profundidades mayores de 200 m (López *et al.* 2008). Las marsopas se alimentan básicamente de pequeños peces que capturan de forma oportunista, localizando a las presas mediante ecolocación. Las presas pueden llegar hasta el medio metro pero lo habitual es que no superen los 30 cm (López-Martínez y Martínez-Cedeira 2011). Tras la cópula y una gestación de entre 10 y 11 meses, las marsopas dan a luz una cría que mide entre 60 y 75 cm y pesa entre 3'4 y 6'7 kg, que será amamantada durante 8 o 9 meses (Lockyer y Kinze 2003). En Huelva tenemos constancia del varamiento de dos crías recién nacidas, una en abril y la otra en agosto (Gutiérrez-Expósito *et al.* 2012), lo que coincide con los dos periodos de partos descritos en aguas de Galicia (López *et al.* 2008). Entre las causas de mortalidad está la predación por orcas y varias especies de tiburones. Además, no son raras las agresiones por parte de delfines mulares

(López-Martínez y Martínez-Cedira 2011, Cotter *et al.* 2012). La principal amenaza de origen antrópico es la captura accidental en artes de pesca (López-Martínez y Martínez-Cedeira 2011).

Entre los cetáceos ocasionales hay que destacar el varamiento de hasta 32 ballenas, tanto vivas como muertas, siendo la mayoría rorcuales aliblancos (*Balaenoptera acutorostrata*), 17 varamientos, seguido de rorcuales comunes (*Balaenoptera physalus*), 8 varamientos, y de las yubartas o ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) con 5 varamientos [TABLA 10-2]. Destaca la aparición de un rorcual tropical el 17/09/1997 en la desembocadura del Guadalquivir (Gutiérrez-Expósito *et al.* 2012), única cita peninsular hasta la fecha. El único caso de cachalote (*Physeter macrocephalus*) se dio en la playa de Mazagón el 04/05/1987. Los cachalotes pigmeos (*Kogia breviceps*) y enano (*Kogia sima*) son versiones pequeñas del cachalote y, aunque habitan aguas oceánicas profundas, excepcionalmente se han dado algunos varamientos en Huelva: tres cachalotes pigmeos en la playa del Parque Nacional de Doñana, y sendos cachalotes enanos en Punta Umbría y la playa del espigón del Odiel. Al igual que los estos cachalotes, los zifios son mamíferos marinos de aguas muy profundas que raramente son observados, por lo que su biología es aún muy desconocida. Aun así, varios ejemplares de hasta tres especies han aparecido en las playas de Huelva: zifio de Cuvier (*Ziphius cavirostris*), zifio de Blainville (*Mesoplodon densirostris*) y zifio de Gervais (*Mesoplodon europaeus*) [TABLA 10-2]. Entre los delfínidos, la mayor parte de varamientos se corresponden con las especies residentes como los delfines mulares (N = 96) y común (N = 38). Además, existe un alto índice de aparición de delfines listados (*Stenella coeruleoalba*) (N = 42) por lo que cabe suponer que existen poblaciones estables en aguas profundas no lejanas a las costas onubenses. Lo mismo ocurre con los calderones de aleta larga (*Globicephala melas*) y gris (*Grampus griseus*) con 3 y 4 registros respectivamente, siendo por tanto mucho más escasos.

Pero no sólo los cetáceos nadan en las aguas marinas del Golfo de Cádiz. Dentro del grupo de los carnívoros existen especies adaptadas a la vida en medios acuáticos. No es raro encontrar rastros de las conocidas nutrias en las playas y desembocaduras de los ríos onubenses. Pero son sin duda los pinnípedos (focas y leones marinos) los carnívoros marinos por excelencia. Si bien de forma regular no existen focas en Andalucía, ocasionalmente se han producido registros de hasta 5 especies: foca monje (*Monachus monachus*), foca groenlandesa (*Pagophilus groenlandicus*), foca gris (*Halichoerus grypus*), foca de casco (*Cystophora cristata*) y foca común (*Phoca vitulina*) (González y Avellá 1989, Avellá *et al.* 1993, Bellido *et al.* 2009). Aunque por cercanía cabría esperar la llegada a Huelva de alguna foca monje (Salvador 2013), han sido la foca común, la foca gris y la de casco las únicas especies recientemente registradas en Huelva. A pesar de que la fosca de casco tiene el área de distribución en aguas árticas del Atlántico (NE Canadá, Groenlandia), es la foca que más citas tiene en Andalucía (Bellido *et al.* 2007). De ellas, tres fueron en la provincia de Huelva: sendos juveniles en Huelva (09/06/1990) y Punta Umbría (06/08/2006), y una hembra gestante encontrada muerta en la playa del Parque Nacional de Doñana el 26/02/1986 [FIGURA 10-15], siendo éste el único varamiento conocido de una foca de casco adulta en España (Gutiérrez-Expósito *et al.* 2012). Por otro lado, los dos registros que existen de foca común se corresponden con un varamiento en la playa del Parque Nacional de Doñana (11/08/2006) y un ejemplar capturado vivo en La Antilla el 19/03/1980 [FIGURA 10-15] (Gutiérrez-Expósito *et al.* 2012). Este ejemplar fue capturado por José Ramón Arnosa, pescador de Isla

Cristina. Se mantuvo vivo durante algo más de un mes en un almacén de marisco hasta que el 12 de abril se donó al ICONA, quien a su vez la trasladó al zoológico de Barcelona (Delibes y Azcárate 1984). En 2022 apareció en Doñana un macho joven de foca gris que luego fue visto también en otras playas del Golfo de Cádiz y del Mediterráneo.

FIGURA 10-15

Izquierda, hembra adulta de **foca de casco** (*Cystophora cristata*) encontrada muerta en el Parque Nacional de Doñana el 26/02/1986.
Derecha, joven **foca común** (*Phoca vitulina*) capturada viva en La Antilla el 19/03/1980

FOTOGRAFÍA IZQ: Paco Robles | FOTOGRAFÍA DCHA: Miguel Delibes



[8]
Bibliografía

Abascal, F., et al. (2016). *Extreme genomic erosion after recurrent demographic bottlenecks in the highly endangered Iberian lynx*. Genome Biology 17.

Amaya-Castaño, G.C.; Palomares, F. (2018). *Effect of human influence on Carnivore presence in a Mediterranean human-modified area in the Southwestern Iberian Peninsula*. Galemys 30, 9-20.

Arija, C.M. (2010). *Turón – Mustela putorius* Linnaeus, 1758. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. ed. A. Salvador, Barja, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. http://www.vertebradosibericos.org/

Asensio-Cenzano, E. (2014). *Secuenciación masiva revela segregación trófica entre los murciélagos cazadores aéreos Tadarida teniotis y Nyctalus lasiopterus.* Trabajo Final de Máster de Biología de la Conservación y Biodiversidad. Universidad Pablo de Olavide (Sevilla)-Estación Biológica de Doñana (CSIC).

Avellá, F.; Castells, A.; Mayo, M. (1993). *Los pinnípedos de las costas atlánticas y cantábricas de la península ibérica*. Quercus 85: 29-34.

Ayala, B.; Esparza, O.; García, J.L. (2014). *Red Natura 2000 marina en España*. WWF/Adena.

Báez, J.C.; Camiñas, J.A.; Torreblanca, D. (2007). *Análisis de la distribución espacial de aves y mamíferos marinos en el Golfo de Cádiz (Sudoeste de la Península Ibérica) durante el periodo de primavera*. Boletín de la Sociedad española de Historia Natural. Sección de Biología 102(1-4): 93-97.

Bearzi, G.; Fortuna, C.M.; Reeves, R.R. (2009). *Ecology and conservation of common bottlenose dolphins Tursiops truncatus in the Mediterranean Sea*. Mammal Review, 39: 92-123.

Bearzi, G.; Reeves, R.R.; Notarbartolo-di-Sciara, G.; Politi, E.; Cañadas, A.; Frantzis, A.; Mussi, B. (2003). *Ecology, status and conservation of short-beaked common dolphins Delphinus delphis in the Mediterranean Sea.* Mammal Review, 33: 224-252.

Bellido, J.J.; Cabot, J.; Castillo, J.J.; Báez, J.C.; Martín, J.J.; Mons, J.L.; Larios, J.; Rubia, J.; Real, R. (2009). *First record of the harp seal (Pagophilus groenlandicus) extralimital presence in the Mediterranean Sea*. Marine Biodiversity Records 2, E169.

Bellido, J.J.; Castillo, J.J.; Farfán, M.A.; Martín, J.J.; Mons, J.L.; Real, R. (2007). *First records of hooded seals (Cistophora cristata) in the Mediterranean Sea.* Journal of the Marine Biological Association - Biodiversity Records.

Bencatel, J.; Álvares, F.; Moura, A. E.; Barbosa, A.M. (eds.). (2017). *Atlas de Mamíferos de Portugal*. Universidad de de Évora, Portugal.

Biedma, L.; Calzada, J.; Román, J.; Godoy, J.A. (2019a). *Rare and rear: population genetics of marsh-specialist Crocidura suaveolens populations in the Gulf of Cádiz*. Journal of Mammalogy, in press.

Biedma, L.; Román, J.; Calzada, J.; Friis, G.; Godoy, J.A. (2018). *Phylogeography of Crocidura suaveolens (Mammalia: Soricidae) in Iberia has been shaped by competitive exclusion by C. russula*. Biological Journal of the Linnean Society 123:81-95.

Biedma, L.; Román, J.; Godoy, J.A.; Calzada, J. (2019b). *Using owl pellets to infer habitat associations and clarify the regional distribution of a cryptic shrew*. Journal of Zoology, in press.

Bitón, S. (2009). *Biología de las tortugas marinas e incidencia de la pesca de arrastre en su conservación en el Mediterráneo y Golfo de Cádiz*. Asociación Chelonia. Madrid, 117 pp.

- Braza, F. (2017). *Gamo–Dama dama* (Linnaeus, 1758). En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Ed. A. Salvador, Barja, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. http://www.vertebradosibericos.org/
- Briones, V.; de Juan, L.; Sanchez, C.; Vela, A.I.; Galka, M.; Montero, N.; Goyache, J.; Aranaz, A.; Mateos, A.; Dominguez, L. (2000). *Bovine tuberculosis and the endangered Iberian lynx*. Emerging Infectious Diseases 6, 189-191.
- Calzada, J. (1998). *Gineta común, Genetta genetta*, Linnaeus, 1758. Galemys 10, 3-11.
- Camiñas, J.A. (2002). *Estatus y conservación de las tortugas marinas en España.* En: Pleguezuelos, J.M., Márquez, R. y Lizana, M., (eds.). Atlas y libro rojo de los Anfibios y Reptiles de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza - Asociación Herpetológica Española (2ª impresión), Madrid, 587 pp.
- Camiñas, J.A. (2005). *Interacciones entre las tortugas marinas y las flotas españolas en el Mediterráneo Occidental y Golfo de Cádiz. Taller de Coordinación de actuaciones relacionadas con la captura accidental de tortuga boba (Caretta caretta) por flotas españolas en el Mediterráneo*. Secretaría General de Pesca Marítima (MAPA), Madrid 4 de octubre de 2005, 14 pp.
- Camps, D. (2012). *Jineta – Genetta genetta* (Linnaeus, 1758). En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. ed. A. Salvador, Barja, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. http://www.vertebradosibericos.org/
- Cañadas, A.; Sagarminaga, R.; de Stephanis, R.; Urquiola, E.; Hammond, P.S. (2005). *Habitat preference modelling as a conservation tool: proposals for marine protected areas for cetaceans in southern Spanish waters*. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 15 (5): 495-521.
- Carranza, J. (2017). *Ciervo – Cervus elaphus*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. eds A. Salvador y I. Barja. Museo Nacional de Ciencias Naturales. http://www.vertebradosibericos.org/, Madrid.
- Carranza, J.; Martínez, J.G. (2002). *Consideraciones Evolutivas en la Gestión de Especies Cinegéticas*. En: Evolución, la base de la Biología. Ed. M.E. Soler, pp. 373-387. Proyecto Sur Ediciones, Granada.
- Carranza, J.; Valencia, J. (1992). *Organización social del ciervo en hábitat mediterráneo.* Miscellania Zoologica 16, 223-232.
- Carranza, J.; Fernández-García, J.L.; Martínez, J.G.; Alvarez-Alvarez, R.; Sánchez-Fernández, B.; Sánchez-Prieto, C.; Valencia, J.; Alarcos, S. (2003). *The preservation of Iberian red deer (Cervus elaphus hispanicus) from genetic introgression by other European subspecies*. Deer Specialist Group News, Newsletter 18, 2-4.
- Casas-Marce, M.; Soriano, L.; López-Bao, J.V.; Godoy, J.A. (2013). *Genetics at the verge of extinction: insights from the Iberian lynx*. Molecular Ecology 22, 5503-5515.
- Clavero, M.; Prenda, J.; Blanco-Garrido, F.; Delibes, M. (2008a). *Hydrological stability and otter trophic diversity: a scale-insensitive pattern?* Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne de Zoologie, 86, 1152-1158.
- Clavero, M.; Ruiz-Olmo, J.; Sales-Luis, T.; Blanco-Garrido, F.; Romero, R.; Pedroso, N.M.; Prenda, J.; Santos-Reis, M.; Narváez, M.; Delibes, M. (2008b). *Lo que comen las nutrias ibéricas. En: La nutria en España*. Veinte años de seguimiento de un mamífero amenazado. ed. SECEM, Málaga.
- Connor, R.C.; Wells, R.S.; Mann, J.; Read, A.J. (1999). *The Bottlenose Dolphin: Social Relationships in a Fission-Fusion Society*. En: Mann, J., Connor, R.C., Tyack, P.L. & Whitehead, H. (eds.) Cetacean Societies. Field Studies of Dolphins and Whales. The University of Chicago Press. Chicago.
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. (2017). *Memoria de actividades y resultados 2017. Espacio Natural Doñana*. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/servicios_generales/doc_tecnicos/publicaciones_renpa/2018_05_end_memorias_anuales/memorias_anuales/2017_memoria_donana.pdf

| Cotter, M. P.; Maldini, D.; Jefferson, T.A. (2012). *"Porpicide" in California: Killing of harbor porpoises (Phocoena phocoena) by coastal bottlenose dolphins (Tursiops truncatus)*. Marine Mammal Science, 28: E1-E15.

| de Stephanis, R.; Cornulier, T.; Verborgh, P.; Salazar-Sierra, J.; Pérez-Jimeno, N.; Guinet, C. (2008). *Summer spatial distribution of cetaceans in the Strait of Gibraltar in relation to the oceanographic context*. Marine Ecology Progress Series 353: 275-288.

| Delibes, M. (1980). *Feeding ecology of the spanish lynx in the Coto Doñana*. Acta Theriologica 25, 309-324.

| Delibes, M.; Carrasco-Rus, J. (2015). *Radiocarbon dating of introduced mammals: a genet (Genetta genetta) from a Prehistoric site dated in Islamic times.* Galemys 27, 59-62.

| Delibes, M.; Cabezas, S.; Jiménez, B.; González, M.J. (2009). *Animal decisions and conservation: the recolonization of a severely polluted river by the Eurasian otter*. Animal Conservation 12, 400-407.

| Delibes, M.; Mezan-Muxart, V.; Calzada, J. (2013). *Albino and melanistic genets (Genetta genetta) in Europe*. Acta Theriologica 58, 95-99.

| Delibes, M.; Azcárate, T. (1984). *Primera captura de una foca común en el Suroeste de Iberia*. Doñana Acta Vertebrata 11(1): 153-155.

| Detry, C.; Cardoso, J.L.; Heras-Mora, J.; Bustamante-Álvarez, M.; Silva, A.M.; Pimenta, J.; Fernandes, I.; Fernandes, C. (2018). *Did the Romans introduce the Egyptian mongoose (Herpestes ichneumon) into the Iberian Peninsula?* The Science of Nature 105.

| Díaz del Río, V. et al. (2014). *Volcanes de fango del Golfo de Cádiz*, Proyecto LIFE+ INDEMARES. Ed. Fundación Biodiversidad, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

| Dobson, M. (1998). *Mammal distributions in the western Mediterranean: the role of human intervention*. Mammal Review, 28(2): 77-88.

| Docampo, M.; Moreno, S.; Santoro, S. (2018). *Marked reduction in body size of a wood mouse population in less than 30 years*. Mammalian Biology, in press.

| Fedriani, J.M.; Delibes, M.; Ferreras, P.; Román, J. (2002). *Local and landscape habitat determinants of water vole distribution in a patchy Mediterranean environment*. Ecoscience, 9 (1): 12-19

| Fernández-Aguilar, X.; Molina-Vacas, G.; Ramiro, V.; Alberto-Carro, F.; Barasona, J.A.; Vicente, J.; Gutiérrez, C. (2012). *Presence of raccoon (Procyon lotor) in Doñana National Park and its surroundings*. Galemys 24, 76-79.

| Fernández-Llario, P. (2017). *Jabalí – Sus scrofa* Linnaeus, 1758 En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. ed. A. Salvador, Barja, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. http://www.vertebradosibericos.org/

| Fernández-Llario, P.; Carranza, J.; Hidalgo de Trucios, S.J. (1996*). Social organization of the wild boar (Sus scrofa) in Doñana National Park*. Miscelanea Zoologica 19, 9-18.

| García Canseco, V. (2002). *Parque Nacional de Doñana*. Canseco Editores. Talavera de la Reina.

| García-Tiscar, S. (2010). *Interacciones entre delfines mulares (Tursiops truncatus), orcas (Orcinus orca) y pesquerías en el mar de Alborán y Estrecho de Gibraltar*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.

| Garrido, J.A. (1997). *La alimentación de Myotis myotis Borkh. 1797 (Chiroptera, Vespertilionidae) en la cuenca del río Guadix (Sureste de España).* Doñana Acta Vertebrata 24(1-2):27-38

| Gaubert, P.; del Cerro, I.; Centeno-Cuadros, A.; Palomares, F.; Fournier, P.; Fonseca, C.; Paillat, J.P.; Godoy, J.A. (2015). *Tracing historical introductions in the Mediterranean Basin: the success story of the common genet (Genetta genetta) in Europe*. Biological Invasions 17, 1897-1913.

- Gaubert, P.; Machordom, A.; Morales, A.; López-Bao, J.V.; Veron, G.; Amin, M.; Barros, T.; Basuony, M.; Djagoun, C.; Do Linh San, E.; Fonseca, C.; Geffen, E.; Ozkult, S.O.; Cruaud, C.; Couloux, A.; Palomares, F. (2011). *Comparative phylogeography of two African carnivorans presumably introduced into Europe: disentangling natural versus human-mediated dispersal across the Strait of Gibraltar*. Journal of Biogeography 38, 341 - 358.
- Gil-Sánchez, J.M.; Valenzuela, G.; Sánchez, J.F. (1999). *Iberian wild cat Felis silvestris tartessia predation on rabbit Oryctolagus cuniculus: functional response and age selection*. Acta Theriologica 44, 421-428.
- Giménez, J. *et al.* (2016). *Towards the identification of ecological management units: A multidisciplinary approach for the effective management of bottlenose dolphins in the southern Iberian Peninsula*. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 28(1): 205-215.
- Giménez, J.; Cañadas, A.; Ramírez, F.; Afán, I.; García-Tíscar, S.; Fernández-Maldonado, C.; Castillo, J.J.; de Stephanis, R. (2017a). *Intra- and interespecific niche partitioning in striped and common dolphins inhabiting the southwestern Mediterranean Sea*. Marine Ecology Progress Series 567: 199-210.
- Giménez, J.; Marçalo, A.; García-Polo, M.; García-barón, I.; Castillo, J.J.; Fernández-Maldonado, C.; Saavedra, C.; Santos, M.B.; de Stephanis, R. (2018). *Feeding ecology of Mediterranean common dolphins: The importance of mesopelagic fish in the diet of an endangered subpopulation.* Marine mammal Science 34(1): 136-154.
- Giménez, J.; Marçalo, A.; Ramírez, F.; Verborgh, P.; Gauffier, P.; Esteban, R.; Nicolau, L.; González-Ortegón, E.; Baldó, F.; Vilas, C.; Vingada, J.; Forero, M.G.; de Stephanis, R. (2017b). *Diet of bottlenose dolphins (Tursiops truncatus) from the Gulf of Cádiz: Insights from stomach content and stable isotope analyses*. PLoS ONE 12(9): e0184673.
- González, L.M.; Avellá, J. (1989). *La extinción de la foca monje (Monachus monachus) en las costas mediterráneas de la península ibérica y propuesta de una estrategia de actuación*. Ecología 3: 157-177.
- Gortazar, C.; Delahay, R.J.; McDonald, R.A.; Boadella, M.; Wilson, G.J.; Gavier-Widen, D.; Acevedo, P. (2012). *The status of tuberculosis in European wild mammals*. Mammal Review 42, 193-206.
- Gortazar, C.; Torres, M.J.; Vicente, J.; Acevedo, P.; Reglero, M.; de la Fuente, J.; Negro, J.J.; Aznar-Martin, J. (2008). *Bovine Tuberculosis in Donana Biosphere Reserve: The Role of Wild Ungulates as Disease Reservoirs in the Last Iberian Lynx Strongholds*. PLoS ONE 3.
- Granados, M. (1987). *Transformaciones históricas de los ecosistemas del Parque Nacional de Doñana*. Tesis. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Grupo de Carnívoros Terrestres-SECEM. (2001). *Distribución y estatus del turón (Mustela putorius) en España: un análisis basado en encuestas*. Galemys 13, 39-62.
- Gutiérrez-Expósito, C.; Rivilla, J.C.; Alís, S.; Máñez, M.; Gárrido, H.; Jiménez, F.J.; Cobo, M.D. (2012). *Veinticinco años (1986-2011) de monitorización de varamientos de mamíferos marinos en el litoral de Doñana (Huelva, SO España).* Galemys 24: 86-90.
- Hammond, P.S.; Bearzi, G.; Bjørge, A.; Forney, K.; Karczmarski, L.; Kasuya, T.; Perrin, W.F.; Scott, M.D.; Wang, J.Y.; Wells, R.S.; Wilson, B. (2008). *Phocoena phocoena*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T17027A6734992. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T17027A6734992.en. Downloaded on 02 December 2018
- Ibáñez, C.; García-Mudarra, J.L.; Ruedi, M.; Stadelman, B.; Juste, J. (2006). *The Iberian contribution to cryptic diversity in European bats*. Acta Chiropterologica 8:277-297.

- Ibáñez, C.; Nogueras, J.; Puig, X.; Juste, J.; Schreur, G.; Fijo, A. (2012*). Sistemas de gestión de las poblaciones de murciélagos forestales de Andalucía.* Convenio de Colaboración Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía - Estación Biológica de Doñana (CSIC). Informe inédito. 165 pp.
- Ibáñez, C.; Popa-Lisseanu, A. G.; Pastor-Beviá, D.; García-Mudarra, J. L.; Juste, J. (2016). *Concealed by darkness: interactions between predatory bats and nocturnally migrating songbirds illuminated by DNA sequencing*. Molecular Ecology 25 (20).
- Jefferson, T.A.; Webber, M.A.; Pitman, R.L. (2008). *Marine Mammals of the World. A comprehensive Guide to their identification*. Academic Press.
- Larivière, S.; Calzada, J. (2001). *Genetta genetta*. Mammalian Species 680, 1-6.
- Lockyer, C.; Kinze, C. (2003). *Status, ecology and life history of the harbour porpoise (Phocoena phocoena) in Danish waters*. NAMMCO Scientific Publications, 5: 143-176.
- López, A.; Cedeira, J.A.M.; Fernández, R.; Santos, M.B. (2008). *Recompilación da información disponible para a toniña, Phocoena phocoena, en Galicia*. Informe técnico. Xunta de Galicia.
- López-Fernández y Martínez-Cedeira, J.A. (2011). *Marsopa - Phocoena phocoena* (Linnaeus 1758). En: Salvador, A., Cassiniello, J. (Eds.) Enciclopedia virtual de los vertebrados Españoles. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid. http://www.vertebradosibericos.org/
- López-Martín, J.M. (2010). *Zorro – Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. ed. A. Salvador, Barja, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. http://www.vertebradosibericos.org/
- López-Martín, J.M.; Jiménez, J. (2008). *La nutria en España. Veinte años de seguimiento de un mamífero amenazado*. SECEM, Málaga.
- Lozano, J. (2017). *Gato montés – Felis silvestris* Schreber, 1777. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. ed. A. Salvador, Barja, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. http://www.vertebradosibericos.org/.
- Malo, A.F.; Lozano, J.; Huertas, D.L.; Virgós, E. (2004). *A change of diet from rodents to rabbits (Oryctolagus cuniculus). Is the wildcat (Felis silvestris) a specialist predator?* Journal of Zoology 263, 401-407.
- Mangas, J. (2017). *Garduña – Martes foina* (Erxleben, 1777). En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. ed. A. Salvador, Barja, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. http://www.vertebradosibericos.org/
- Mestre, F.M.; Ferreira, J.P.; Mira, A. (2007). *Modelling the distribution of the European polecat Mustela putorius in a Mediterranean agricultural landscape*. Revue d'Ecologie la Terre et la Vie 62 35-47.
- Monterroso, P.; Brito, J.C.; Ferreras, P.; Alves, P.C. (2009). *Spatial ecology of the European wildcat in a Mediterranean ecosystem: dealing with small radio-tracking datasets in species conservation*. Journal of Zoology 279, 27-35.
- Morales, A. (1994). *Earliest genets in Europe*. Nature 370, 513.
- Morenés y Mariátegui, C. (2005). *Historia del Coto de Doña Ana (1865-1985).* Fundación Patrimonio Madrid.
- Nogueras, J.; García-Mudarra, J.L.; Ibáñez, C. (2016). *Presencia del nóctulo mediano (Nyctalus noctula) en el Parque Nacional de Doñana*. Poster presentado en la VI Jornadas SECEMU. Vairão, Portugal, diciembre 2016.
- Nogueras, J.; Juste, J.; Fijo, A.; Schreur, G.; Ibáñez, C. (2010). *Distribución y delimitación de las zonas importantes para murciélagos forestales de Andalucía.* Poster presentado en las III Jornadas SECEMU. A Coruña, noviembre 2010.

- Palazón, S. (2012). *Comadreja – Mustela nivalis* (Linnaeus, 1761). En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. ed. A. Salvador, Barja, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. http://www.vertebradosibericos.org/
- Palomares, F. (1993). *Opportunistic feeding of the Egyptian mongoose, Herpestes ichneumon, (L.) in southwestern Spain*. Rev. Ecol. (Terre Vie) 48, 295-304.
- Palomares, F. (2012). *Meloncillo – Herpestes ichneumon* (Linnaeus, 1758). En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. ed. A. Salvador, Barja, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. http://www.vertebradosibericos.org/
- Palomares, F.; Ferreras, P.; Fedriani, J.M.; Delibes, M. (1996). *Spatial relationships between Iberian lynx and other carnivores in an area of south-western Spain*. Journal of Applied Ecology 33, 5-13.
- Palomares, F.; Ferreras, P.; Travaini, A.; Delibes, M. (1998). *Co-existence between Iberian lynx and Egyptian mongooses: estimating interaction strength by structural equation modelling and testing by an observational study.* Journal of Animal Ecology 67, 967-978.
- Palomares, F.; Gaona, P.; Ferreras, P.; Delibes, M. (1995*). Positive effects on game species of top predators by controlling smaller predator populations: an example with lynx, mongooses, and rabbits*. Conservation Biology 9, 295-305.
- Palomares, F.; Delibes, M. (1988). *Time and space use by two common genetes (Genetta genetta) in the Doñana National Park, Spain*. Journal of Mammalogy 69, 635-637.
- Palomares, F.; Delibes, M. (1993a). *Key habitats for Egyptian mongooses in Doñana National Park, south-western Spain*. Journal of Applied Ecology 30, 752-758.
- Palomares, F.; Delibes, M. (1993b). *Social organization in the Egyptian mongoose: group size, spatial behaviour and inter-individual contacts in adults*. Animal Behaviour 45, 917-922.
- Palomares, F.; Delibes, M. (1994). *Spatio-temporal ecology and behavior of European genets in southwestern Spain*. Journal of Mammalogy 75, 714-724.
- Palomo, L.J.; Gisbert, J.; Blanco, J.C. (2007). *Atlas y Libro Rojo de los Mamíferos Terrestres de España*. Dirección General para la Biodiversidad-SECEM-SECEMU, Madrid, 588 pp.
- Pereira, P.; da Silva, A.A.; Alves, J.; Matos, M.; Fonseca, C. (2012). *Coexistence of carnivores in a heterogeneous landscape: habitat selection and ecological niches.* Ecological Research 27, 745-753.
- Popa-Lisseanu, A.G. (2007). *Roosting Behaviour, Foraging Ecology & The Enigmatic Dietary Habits of the Aerial-Hawking Bat Nyctalus lasiopterus*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. 142 pp.
- Prenda, J.; Palomo, L.J. (2008). *La nutria en Andalucía*. En: La nutria en España. Veinte años de seguimiento de un mamífero amenazado. ed. SECEM, Málaga.
- Puechmaille, S.; Allegrini, B.; Boston, E.; Dubourg-Savage, M. J.; Evin, A.; Le Bris, Y.; Knochel, A.; Lecoq, V.; Lemaire, M.; Rist, D.; Teeling, E.C. (2012). *Genetic analyses reveal futher cryptic lineages within the Myotis nattereri species complex*. Mammalian Biology – Zeitschrift für Säugetierkunde, 77 (3): 224-228.
- Ramírez, F.; Gutiérrez-Expósito, C.; Afán, I.; Giménez, J.; de Stephanis, R.; Forero, M.G. (2015). *Human influence on gull non-breeding distribution: potential consequences of changes in fishing practices.* Marine Ecology Progress Series 527: 221-232.
- Rau, J.R.; Beltrán, J.F.; Delibes, M. (1985). *Can the increase of fox density explain the decrease in lynx numbers at Doñana?* Terre Vie 40, 145-150.

- Revilla, E.; Delibes, M.; Travaini, A.; Palomares, F. (1999). *Physical and population parameters of Eurasian badgers (Meles meles L.) from Mediterranean Spain*. Z. Säugetierkunde 64, 269-276.
- Revilla, E.; Palomares, F.; Delibes, M. (2000). *Defining key habitats for low density populations of Eurasian badgers in Mediterranean environments*. Biological Conservation 95, 269-277.
- Revilla, E.; Palomares, F.; Fernández, N. (2001). *Characteristics, location and selection of diurnal resting dens by Eurasian badgers (Meles meles) in a low-density area*. Journal of Zoology 255, 291-299.
- Revilla, E.; Palomares, F. (2002a). *Does local feeding specialization exist in European badgers?* Canadian Journal of Zoology 80, 83-93.
- Revilla, E.; Palomares, F. (2002b). *Spatial organization, group living and ecological correlates in low-density populations of Eurasian badgers, Meles meles.* Journal of Animal Ecology 71, 497-512.
- Rodríguez, A. (2012). *Lince ibérico – Lynx pardinus* (Temminck, 1827). En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. eds A. Salvador y J. Cassinello. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- Rodríguez-Ramírez, A. (1996). *Geomorfología continental y submarina del Golfo de Cádiz (Guadiana-Guadalquivir) durante el Cuaternario reciente*. Tesis doctoral. Universidad de Huelva.
- Rodríguez-Ramírez, A.; Rodríguez-Vidal, J.; Cáceres, L.; Clemente, L.; Cantano, M.; Belluomini, G.; Manfra, L.; Improta, S. (1997). *Evolución de la costa atlántica onubense desde el máximo Flandriense a la actualidad*. Boletín Geológico y Minero 108 (4 y 5): 465-475.
- Rosalino, L.M.; Santos, M.J.; Domingos, S.; Rodrigues, M.; Santos-Reis, M. (2005). *Population structure and body size of sympatric carnivores in a Mediterranean landscape of SW Portugal*. Revista de Biologia 23 135-146.
- Ruiz, G.; Román, J. (1999). *¿Desaparece el lirón careto atlántico (Eliomys quercinus lusitánicus) en Doñana?* IV Jornadas Españolas de Conservación y Estudio de Mamíferos. SECEM. Segovia.
- Ruiz-Olmo, J.; Jiménez, J. (2008). *Ecología de la nutria en los ambientes mediterráneos de la Península Ibérica. En: La nutria en España. Veinte años de seguimiento de un mamífero amenazado*. Ed. SECEM. Málaga.
- Salvador, A. (2013). *Foca monje - Monachus monachus*. En: Salvador, A. y Luque-Larena, J.J. (eds.), Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. http://www.vertebradosibericos.org/.
- Santoro, S.; Sánchez-Suárez, C.; Rouco, C.; Palomo, L.J.; Fernández, M.C.; Kufner, M.B.; Moreno, S. (2017). *Long-term data from a small mammal community reveal loss of diversity and potential effects of local climate change*. Current Zoology, 63(5): 515–523.
- Santos, M.J.; Matos, H.M.; Baltasar, C.; Grilo, C.; Santos-Reis, M. (2009). *Is polecat (Mustela putorius) diet affected by "mediterraneity"?* Mammalian Biology 74, 448-455.
- Santos, M.J.; Santos-Reis, M. (2010). *Stone marten (Martes foina) habitat in a Mediterranean ecosystem: effects of scale, sex, and interspecific interactions*. European Journal of Wildlife Research 56, 275-286.
- SECEMU. (2017). *Propuesta de cambio de categoría a 'En Peligro de Extinción' para el murciélago mediano de herradura (Rhinolophus mehelyi) en España*. Informe de la Comisión de Conservación. Noviembre 2017.
- Silva, L.; Gil, J.; Sobrino, I. (2002). *Definition of fleet components in the Spanish artisanal fishery of the Gulf of Cádiz (SW Spain ICES division Ixa)*. Fisheries Research 59: 117-128.
- Soriguer, R.; Palomo, L.J.; Ventura, J. (2001). *Rata de agua, Arvicola sapidus*. En: Franco, A. y Rodríguez de los Santos, M., (Coord.). Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía. Ed. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

- Soto, C.A.; Palomares, F. (2014). *Surprising low abundance of European wildcats in a Mediterranean protected area of southwestern Spain* Mammalia 78, 57-65.
- Valverde, J.A. (1960). *Vertebrados de las marismas del Guadalquivir.* Archivos del Instituto de Aclimatación. Vol. IX. Almería.
- Valverde, J.A. (1967). *Estructura de una comunidad de vertebrados terrestres*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- Venero Gonzales, J.M. (1984). *Dieta de los grandes fitófagos silvestres del Parque Nacional de Doñana*. Doñana, Acta Vertebrata 11, 1-130.
- Villafuerte, R.; Calvete, C.; Gortázar, C.; Moreno, A. (1994). *First epizootic of rabbit hemorrhagic disease in free living populations of Oryctolagus cuniculus at Doñana National Park, Spain*. Journal of Wildlife Diseases, 30(2): 176-179.
- Villalobos, M.; Pérez, A.B. (2008). *Geodiversidad y patrimonio geológico de Andalucía: itinerario geológico por Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Wilson, D.E.; Mittermeier, R.A. (2014). *Handbook of the mammals of the World.* Vol. 4. Sea mammals. Lynx Edicions. Barcelona.



11

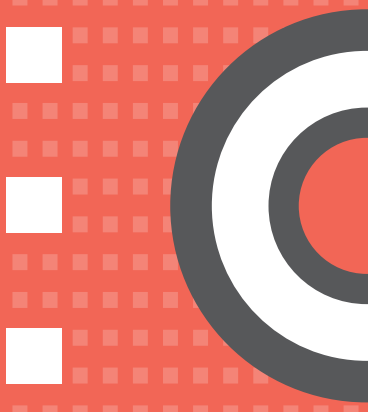
Ecología del litoral onubense |11| Marismas mareales

Eloy M. Castellanos Verdugo * || Carlos J. Luque Palomo

Grupo de Investigación Ecología y Medio Ambiente (RNM-311). Área de Ecología. Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España.

* Corresponding author | Dr. Eloy M. Castellanos Verdugo || verdugo@uhu.es

Tel.: +34 959 21 98 87 || Fax: +34 959 21 94 67



Ecología del litoral onubense |1| Marismas mareales

Eloy M. Castellanos Verdugo || Carlos J. Luque Palomo

RESUMEN

Las marismas mareales son ecosistemas únicos, de alto valor ecológico, que ofrecen bienes y servicios que trascienden del ámbito geográfico local y repercuten tanto a escala regional como global.

Huelva es rica en estos ecosistemas, fundamentales cuantitativa y cualitativamente en el conjunto de los humedales de la provincia. Desde el término municipal de Ayamonte hasta el de Almonte, en todos los estuarios de los ríos que desembocan en el litoral onubenses, encontramos estos ambientes anfibios sometidos a la dinámica mareal. Las marismas de los ríos Guadiana, Carreras, Piedras, Odiel, Tinto y Guadalquivir, la última en menor proporción, están reguladas por dos pleamares y bajamares diarias que nunca son exactamente iguales, ni en intensidad ni en duración, lo que posibilita su elevada diversidad paisajística.

La regularidad astronómica de las mareas genera una distribución de sus organismos en zonación, en bandas paralelas a la línea de marea. Sin embargo, la topografía, la microtopografía y las variaciones mareales diarias determinan numerosas diferencias en la duración y en la frecuencia de las inundaciones en cada punto de la marisma que favorecen una elevada biodiversidad.

Esta rica biocenosis tiene una característica común. Los organismos son mayoritariamente halófilos, amantes (*filo*) de la sal (*halo*) y sus productores primarios exclusivamente especies halófitas (*fito*: planta), con adaptaciones que les permiten vivir en estos ambientes. Es la vegetación la que define la matriz principal de la estructura biótica en las marismas mareales.

Son numerosos los bienes y servicios que ofrecen las marismas mareales, pero lo que las singularizan es su elevada producción. Se encuentran entre los ecosistemas más productivos del mundo, con valores similares a los de los bosques tropicales y ecuatoriales. La gran carga de materia orgánica que llega al tramo final de los ríos y la propia materia orgánica que genera la marisma lo posibilitan, tras pasar de nuevo a disposición de la vegetación, en forma de nutrientes, gracias a la acción de los detritívoros y los descomponedores. Pero no sería así sin la incidencia de las mareas. Es determinante la entrada de energía subsidiaria que supone la actividad mareal, que redistribuye todos estos nutrientes dos veces al día, en cada pleamar, por toda la marisma a través de sus canales, esenciales en la estructura del biotopo de estos ecosistemas. La elevada producción es lo que hace que la importancia ecológica de las marismas de Huelva trascienda de su ámbito geográfico local. A escala regional, las marismas, son zona de cría, guardería y alimentación de numerosas especies animales en el Golfo de Cádiz, algunas de interés comercial. A escala global, no es casual que las marismas onubenses estén mundialmente reconocidas por su importancia ornitológica, siendo fundamentales para las aves de humedales alejados a centenares de kilómetros que, en sus rutas migratorias, encuentra en las marismas de Huelva puntos de alimentación, descanso y reproducción.

La conservación de las marismas y del conjunto de los humedales es entendida hoy como signo de progreso y numerosos convenios y medidas normativas promueven su protección. Sin embargo, no se ejecuta aún una efectiva gestión integral de estos ecosistemas, que siguen sometidos a una fuerte presión antrópica, lo que repercute en su estructura y en las funciones ecológicas que realizan y, por lo tanto, en los recursos y servicios que nos ofrecen, que son un bien común, un bien de todos.

PALABRAS CLAVE

Marismas mareales, producción y outwelling, sucesión, facilitación y competencia, halófitas, aves limícolas y acuáticas.



Marismas del Estero de Domingo Rubio. Al fondo, el puente sobre la Ría del Tinto, donde confluyen los ríos Tinto, Odiel y el Estero de Domingo Rubio.

[1]
Introducción

Marismas

Las marismas son ecosistemas englobados en el concepto genérico de humedal. Son ambientes periódicamente inundables, anfibios, asociados a los estuarios de los ríos y, por tanto, con influencia de aguas marinas y continentales. La preponderancia del mar sobre el río, o viceversa, determina que se extiendan tierra adentro coaligándose con los meandros del río, hasta donde el agua marina tiene influencia, o proyectadas con el estuario hacia el mar, configurando deltas.

Las marismas, al igual que otros tipos de humedales, han estado consideradas por el hombre como ambientes encharcados en los que resultaba complicado obtener algún provecho económico directo y se han vinculado además al origen de distintas enfermedades para las poblaciones próximas. Afortunadamente, conservar los humedales, entre ellos las marismas, es entendido hoy como signo de progreso. Desde los años 80 del siglo XX, la percepción sobre las marismas cambió radicalmente, pasando a ser ecosistemas muy valorados por los servicios ambientales que prestan gracias a sus funciones ecológicas, y también por sus funciones socioeconómicas e histórico culturales, siendo numerosos los acuerdos internacionales que las protegen, entre los que destaca el Convenio que se firmó en la ciudad iraní de Ramsar en 1971.

En sus estadios iniciales, las marismas litorales se cubren de agua dos veces al día por efecto de las mareas, aunque, en una escala temporal amplia, pueden terminar aisladas de la influencia mareal por diferentes procesos geomorfológicos litorales y estuarinos, quedando colmatadas parcialmente de sedimentos. Pasan entonces a ser llanuras aluviales que se inundan estacionalmente por lluvias y por avenidas fluviales. En la provincia de Huelva, las marismas con inundación estacional vinculadas al río Guadalquivir son quizás las más conocidas, por estar asociadas a espacios emblemáticos como el Parque Nacional de Doñana y El Rocío. Sin embargo, son las marismas con influencia predominante de las mareas las que encontramos en los demás estuarios de la costa onubense. Así, las marismas de los ríos Guadiana y Carreras, del río Piedras y de los ríos Odiel y Tinto son, principalmente, marismas mareales. En las orillas del Guadalquivir también encontramos inundaciones por las mareas pero estas marismas mareales son minoritarias en relación a las marismas interiores, que solo se inundan en los periodos de lluvias [FIGURA 11-1A].

[2]
Marismas mareales. Cómo se forman

Los cambios del paisaje en nuestras latitudes suelen tener asociados una escala temporal estacional. Sin embargo, las marismas mareales presentan la singularidad de pasar en unas horas de ser predominantemente terrestres a estar totalmente inundadas, y viceversa, y esas inundaciones, aunque

cíclicas y dos veces al día, no ocurren siempre a las mismas horas ni con igual intensidad. Esto, junto con la estacionalidad, permite observar las marismas mareales con paisajes diferentes durante los 365 días del año.

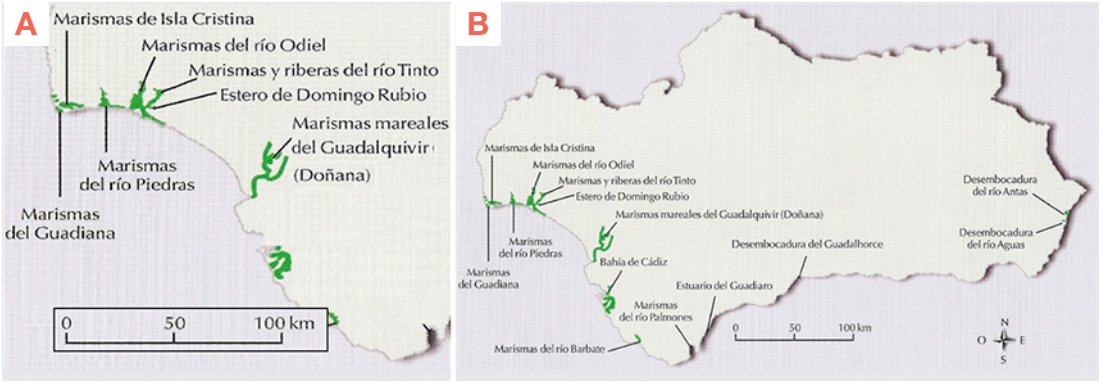
En el litoral andaluz encontramos una relevante presencia de este tipo de ecosistemas [FIGURA 11-1B], si bien son mucho más extensas las marismas mareales del Golfo de Cádiz que las de los ríos mediterráneos. El motivo es doble. Por una parte, los ríos de la vertiente mediterránea parten de la cordillera Penibética, muy próxima al mar, por lo que son ríos cortos y de mucha pendiente media hasta casi su desembocadura, con un corto tramo final. En cambio, los que desembocan en el Atlántico son ríos mucho más largos y caudalosos, con un extenso tramo final ramificado en numerosos meandros de escasa elevación topográfica, al que llegan con una importante carga de sedimentos finos en suspensión, acumulada durante sus amplios trayectos.

Por otro lado, la amplitud de las mareas difiere mucho al este y oeste del Estrecho de Gibraltar. En el mediterráneo, las variaciones medias mareales oscilan entorno a los 50 centímetros de altura durante gran parte del año, por lo que el corto tramo bajo de los ríos no está sometido a grandes inundaciones, y sus marismas son pequeñas en extensión. Son estuarios micromareales. Por el contrario, las amplias llanuras de la desembocadura de los ríos del Golfo de Cádiz se pueden ver superadas por amplitudes mareales de hasta 4 metros, lo que supone una incursión del océano tierra adentro durante decenas de kilómetros, dos veces al día. Son estuarios mesomareales. Este último tipo de estuario es el que encontramos en el litoral de Huelva, donde el caudal de los ríos compite con la elevada amplitud mareal del océano y la fuerte deriva litoral originada por los vientos predominantes de poniente. Cuando estas fuerzas se contrarrestan, arenas que arrastra el mar se depositan próximas a la bocana de los estuarios conformando barras y ganchos arenosos que retienen la carga de sedimentos finos en suspensión que transportan los ríos en su tramo final, lo que supone la génesis de una marisma mareal.

FIGURA 11-1

A: Marismas en el litoral de Huelva. **B:** Marismas en el litoral andaluz.

FUENTE: Modificado de Castellanos y Luque 2009.



[2.1]
Planicies y marismas mareales

El origen de una marisma ocurre, por tanto, por la deposición de los sedimentos finos continentales que trae el río (limos y arcillas), que quedan atrapados por barras o ganchos de arena, sedimentos gruesos, que transporta el mar por deriva litoral. Estas barreras, que se generan al depositarse la arena en la bocana de los estuarios o en bahías, tras minimizarse la fuerza de deriva con los flujos y reflujos mareales y el caudal del río, conforman planicies costeras intermareales, poco profundas, que absorben la energía marina y retienen los sedimentos finos continentales [FIGURA 11-2]. Éstos, que llegan en suspensión, se depositan al disminuir la velocidad de la corriente del río en el estuario, ayudados por procesos de floculación de las arcillas, que ocurren por la mezcla de aguas continentales y marinas. La precipitación de sedimentos finos por floculación puede llegar a suponer hasta el 80% del total de sedimentos depositados sobre la marisma (Christiansen *et al*. 2000).

Se han desarrollado diferentes modelos para explicar la transición desde planicies intermareales fangoarenosas hasta la formación de una marisma, tanto modelos de dinámica vertical como modelos de dinámica lateral de migración de la marisma, dando mayor o menor relevancia a la pendiente de la planicie mareal hacia tierra (ramp models) o a la micromorfología de la red de canales mareales (creek models) (Pratolongo *et al*. 2019). Las variaciones microtopográficas que ocurran también tendrán importancia en la evolución de la marisma. Una mayor acumulación diferencial de sedimentos en el borde de los canales tras cada inundación acabará creando muros microelevados, los *levées*. Por el contrario, pequeñas depresiones que se retroalimenten con los flujos y reflujos mareales terminarán configurando cubetas. Ambos, *levées* y cubetas, modificarán localmente los patrones de inundación de la marisma, al ser elementos estructurales que retienen agua durante las bajamares.

Sin embargo, hasta ahora ningún estudio había analizado los cambios en el medio sedimentario y en la vegetación de marismas mareales durante el tiempo necesario para confirmar alguna de estas hipótesis, que no disponían por tanto del respaldo experimental necesario. Castillo *et al.* (2021), en un estudio de investigación en tiempo real durante 35 años, demuestran los papeles centrales que desempeñan la facilitación y la hipótesis del gradiente ambiental en la formación de estos ecosistemas, desde el comienzo de la formación de una marisma a partir de una planicie intermareal. Al comienzo de este estudio en 1984, el papel ecológico y evolutivo de la facilitación estaba lejos de ser aceptado como regla general. Tampoco estaba claro en ese momento que el estrés ambiental estuviera asociado con un cambio en las interacciones entre especies, pasando de la competencia entre ellas a la facilitación. De igual modo, el desarrollo geomorfológico ocurrido durante estos 35 años respalda la transición desde “marisma sumergida” a una “marisma emergida”, lo que hasta ahora sólo estaba teorizado para esta elevación de marea.

El proceso, inicialmente físico, se refuerza con la estabilización superficial de los sedimentos por cianobacterias, diatomeas y otras algas mucilaginosas (Coles 1979, Stal 2010) y por fanerógamas marinas [FIGURA 11-2A Y B]. Cuando los depósitos de fangos finos alcanzan una elevación suficiente, emergen durante las mareas bajas y pueden ser colonizados y estabilizados por una vegetación terrestre adaptada a las duras condiciones de inundación [FIGURA 11-2C]. Las plantas de marismas son plantas vasculares terrestres adaptadas a la inundación y el encharcamiento de los suelos, y comparten el hecho de

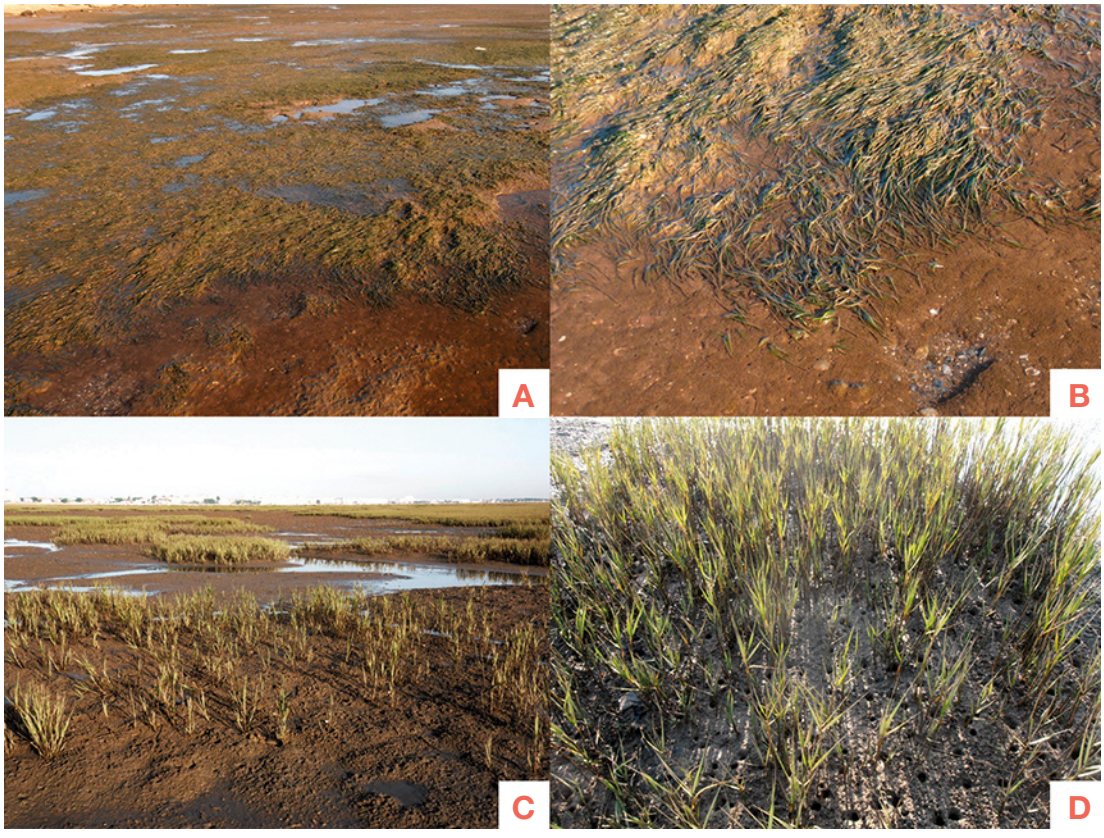
desarrollarse y reproducirse con la exposición repetida al agua marina. Son los organismos extremófilos llamados halófitos y suponen menos del 0,2% de todas las plantas del planeta (Flowers y Colmer 2015).

Se sabe que la morfología de las marismas está fuertemente correlacionada con los patrones de vegetación a través de una compleja interacción de procesos biológicos y físicos (Silvestri *et al*. 2005). Aunque los procesos físicos probablemente dominan en las marismas mareales, principalmente en los estadios iniciales, es la vegetación, la que comienza a estructurar la marisma. Donde la vegetación pionera coloniza una planicie fangosa, disminuye aún más la velocidad de flujo del agua, acelerando los procesos de floculación y la tasa de acreción de sedimentos. A la vez, el desarrollo de los rizomas y raíces de estas plantas los consolidan.

FIGURA 11-2

Marismas del río Odiel

A: Planicie mareal fangosa parcialmente cubierta por un tapete de algas bentónicas y de fanerógamas marinas. **B:** Tapete de la fanerógama marina *Zostera noltii*. **C:** *Spartina maritima* colonizando una planicie mareal. Al fondo rodales de esta especie y, entre ellos, una incipiente red de canales mareales en formación. **D:** Detalle de un rodal sobreelevado de *Spartina maritima* por la acreción diferencial de sedimentos sobre su cobertura vegetal respecto a zonas sin vegetación.



Si bien, los procesos de colonización no son simples (Balke *et al*. 2016), en las planicies intermareales, la vegetación se expande por nucleación (Castellanos *et al.* 1994), conformándose montículos de vegetación que alteran la hidrodinámica y retienen más sedimentos, alrededor de los cuales, en las zonas aún desnudas y más deprimidas, se empiezan a configurar por efecto del flujo y reflujo mareal una red de canales que resultará determinante en la configuración estructural y funcional de las marismas [FIGURA 11-2C Y D]. A partir de aquí, se desarrollan patrones predecibles pero complejos, que en ambientes de alta energía parecen reflejar las fuerzas abióticas, pero que son ampliamente controlados por procesos bióticos en ambientes de baja energía y de elevado estrés ambiental (Mitsch y Gosselink 2015, Castillo *et al*. 2021).

[2.2] Facilitación competencia y sucesión

Entre los procesos bióticos que predominan en la colonización inicial de las planicies intermareales en ambientes de baja energía, destaca el de facilitación (Castellanos *et al.* 1994, Castillo *et al.* 2021). Con la aparición de las primeras especies se suavizan las duras condiciones del medio, ayudando esto a que otras especies también puedan establecerse, repitiéndose el proceso. En las planicies de marea desnudas es posible observar esta secuencia inicial de colonización y de sucesión ecológica, con la sustitución de las primeras especies por otras nuevas.

Las microalgas bentónicas que tapizan las planicies de fangos intermareales mejoran la estabilidad de estos sedimentos, lo que facilita la aparición de las primeras plantas vasculares. En las marismas de Huelva, mientras la inundación sea casi permanente, pueden observarse camas de la fanerógama marina *Zostera noltii* [FIGURA 11-2A Y B]. A su vez, estas poblaciones mejoran las tasas de acreción de sedimentos, posibilitando que semillas o propágulos de halófitas puedan establecerse cuando, por elevación topográfica, disminuya el tiempo de inundación. *Spartina maritima* [FIGURA 11-2C] es una de estas colonizadoras primarias sobre suelos con muy poco oxígeno y con muchas horas de inundación. Esta gramínea perenne rizomatosa se establece sobre ellos y se expande por nucleación y actúa desde ese momento como una ingeniera ecológica, al modificar y suavizar las duras condiciones ambientales iniciales que soporta y permitir así que lleguen otras especies que sin estos cambios no podrían vivir allí.

Spartina maritima configura pequeños domos sobreelevados [FIGURA 11-2D], por una mayor acreción diferencial de sedimentos sobre su dosel vegetal, que actúa como trampa para estos sedimentos, al disminuir la velocidad del agua del estuario que las inunda durante cada marea alta, favoreciendo así la precipitación de los elementos sólidos en suspensión. Estos, al depositarse, van creando zonas más elevadas y extensas que pasan menos tiempo sumergidas y que tienen más oxígeno en el suelo, lo que facilita que puedan ser colonizadas por otras especies. *Sarcocornia perennis* es la primera especie capaz de vivir en este ambiente mejorado, acelerando el proceso de atrapar sedimentos, al tiempo que es polinizada por otra especie estrechamente relacionada que vive en las zonas altas de la marisma, *Sarcocornia fruticosa*. El híbrido entre estas dos especies de *Sarcocornia* coloniza el centro más elevado de los montículos marismeños, con condiciones ambientales aún más suaves y, con el tiempo, logra desplazar a su madre (Figueroa *et al.* 2003).

FIGURA 11-3

Secuencia fotográfica que ilustra el desarrollo sucesional de una marisma en el litoral de Huelva entre 1986 y 2020. La Laguna de Don Claudio, Marismas del Odiel.

FUENTE: Modificado de Castillo *et al*. 2021.



De esta manera [FIGURA 11-3], los montículos casi permanentemente inundados construidos inicialmente por *Spartina*, que es desplazada posteriormente por las *Sarcocornia*, van uniéndose y aumentando en altura hasta formar una marisma de elevación media que se inunda mucho menos y coincide con el nivel medio de las mareas altas en esa zona. La última especie en aparecer en esta marisma media en ascenso es *Atriplex portulacoides* que llega a ser la especie dominante de las marismas medias al crecer sobre las tres especies anteriores. En esta sucesión de colonizaciones, Castillo *et al.* (2021) muestran como la competencia es una relación más de la naturaleza, quizás la más importante, aunque la facilitación domina las relaciones entre especies en condiciones muy estresantes. Las hipótesis sobre la sucesión en los ecosistemas de marisma, basadas en elementos teóricos descritos hace ya más de 300 años (Pignatti y Ubrizsy Savoia 1989), tienen ahora el respaldo experimental necesario (Castellanos 2022).

[3]
Mareas

Los ciclos y rangos mareales son importantes en la configuración física y biológica de este tipo de marismas. La dinámica de las mareas determina cuánto tiempo y con qué frecuencia se inunda cada zona, siendo esto último, la frecuencia, concluyente para establecer el límite de elevación inferior global de las plantas vasculares en las planicies intermareales (Balke *et al*. 2016), entre otros factores (Castillo *et al*. 2000, Silvestri *et al*. 2005).

Los ciclos mareales implican, además, un hecho diferenciador para este tipo de ecosistemas desde el punto de vista trófico, pues suponen una importante entrada de energía subsidiaria dos veces al día, convirtiendo a las marismas mareales en uno de los ecosistemas más productivos del planeta, con valores de entre 1000 y 3000 $g.m^{-2}.año^{-1}$ (Mitsch y Gosselink 2015). Esta entrada de energía fluye a través de la extensa red de canales que se comienza a configurar en la marisma desde su origen [FIGURA 11-4].

Preocupa por ello que existan evidencias de cambios en los rangos de las mareas debido al aumento del nivel del mar y a la ingeniería costera en todo el mundo y las consecuencias que puedan tener sobre la estructura y función de estos ecosistemas y sobre su producción.

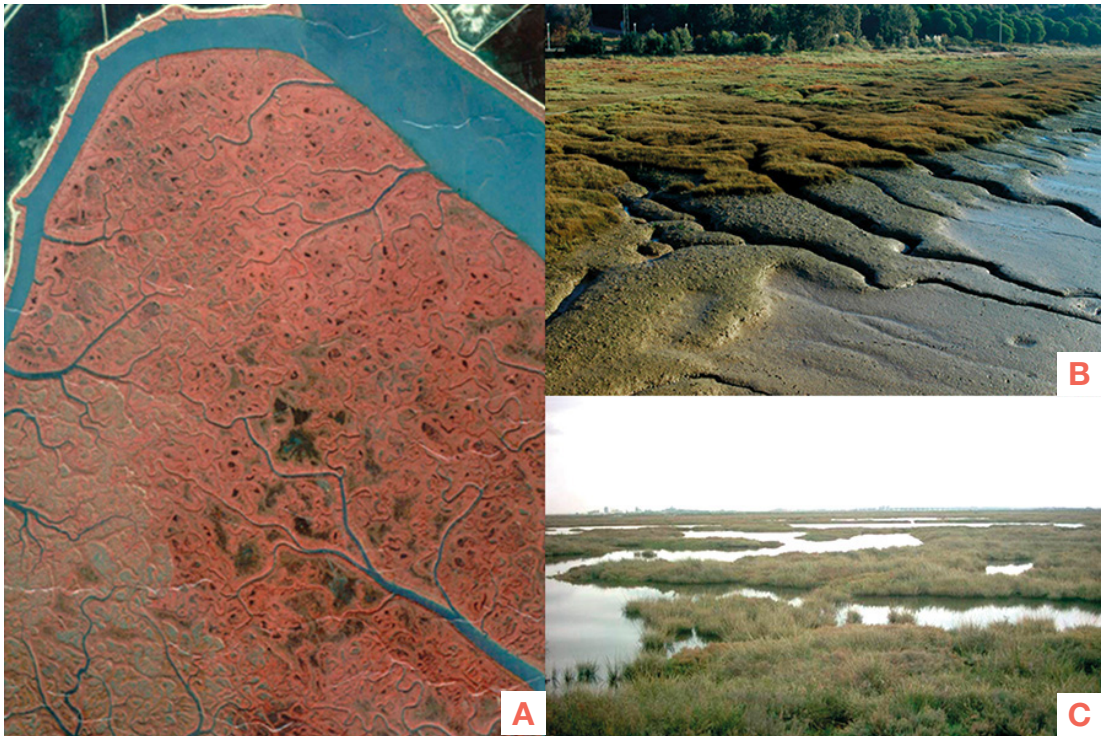
El patrón observable de los ciclos mareales obedece a tres procesos principales superpuestos que ocurren a escalas temporales diarias, mensuales y anuales, respectivamente. Los tres, de naturaleza y exactitud astronómicas, están relacionados con la disposición que presentan la Tierra, la Luna y el Sol entre sí y el efecto de sus interacciones gravitatorias sobre los océanos y mares y el de las fuerzas centrípetas por rotación terrestre sobre estas masas de agua.

Es el carácter astronómico de estos procesos el que permite que los niveles que alcanza la marea en cada momento y sus máximos y mínimos diarios sean predecibles y puedan ser calculados con exactitud de centímetro para cualquier punto del planeta. Luego, las características de la costa, la latitud, el tamaño de la cubeta de los distintos mares y océanos en que los continentes fragmentan el mar, los patrones de vientos y la presión atmosférica determinarán la amplitud mareal y si el ciclo es semidiurno, excepcionalmente diurno o una mezcla de ambos (Adam 1993).

FIGURA 11-4

Red de canales mareales

A: Fotografía aérea en falso color de la zona norte de Isla de Enmedio, en las marismas del río Odiel. Se aprecia en azul la compleja red dendrítica de canales mareales que permite la inundación de la marisma con cada pleamar. **B:** Red de canales mareales entre la vegetación y en la planicie fangosa descubierta durante la bajamar en la margen derecha del Estero de Domingo Rubio. **C:** Canales mareales en las marismas del río Odiel durante una marea alta.



[3.1] Mareas altas y bajas

El patrón mareal en Huelva es semidiurno [FIGURA 11-5A], con dos mareas altas y dos bajas, alternas, en un periodo de algo más de 24 horas, que transforman cíclicamente a la marisma de ecosistema acuático en terrestre y viceversa. Estas mareas ocurren, principalmente, por la atracción gravitatoria lunar ejercida sobre cualquier punto del mar en relación a su disposición relativa con la Luna, en cada momento del día. Esto, junto con la propia gravedad terrestre y la fuerza centrípeta debida a la rotación de la Tierra, hace que el resultado observable en el litoral sea una onda marina que inunda la costa en su recorrido. Cuando la Luna está frente a una zona litoral o de espaldas a ella, el océano se abomba y la pleamar cubre sus costas. Cuando seis horas más tarde su posición relativa es en ángulo recto con respecto a la Luna, las

fuerzas se han anulado entre sí y el mar tiende a recuperar su nivel, retirándose. Es la bajamar. Pleamares y bajamares no ocurren siempre a la misma hora y sus picos avanzan en el tiempo cada día. Esto se debe a que la rotación completa de la Tierra supera las 24 horas y, en ese periodo, la luna también se ha desplazado por lo que cualquier punto del océano no volverá a encarar a la Luna hasta más de un día después.

[3.2] Mareas vivas y muertas

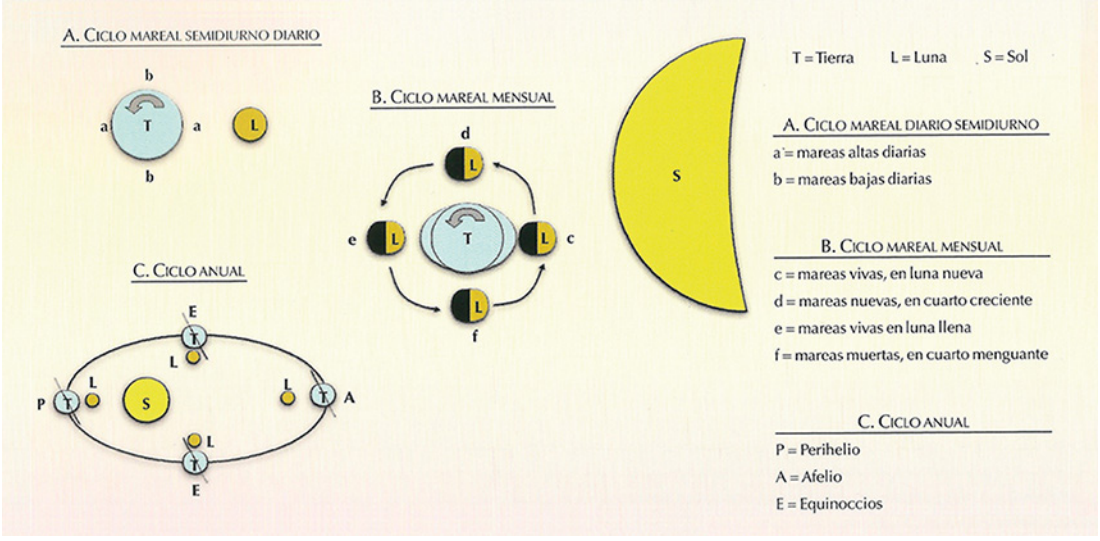
Al ciclo que se repite dos veces al día se superpone otro que se repite dos veces en algo menos de un mes, en el tiempo que tarda la luna en dar la vuelta a la Tierra [FIGURA 11-5B]. Se alternan así, aproximadamente cada semana, mareas vivas con mareas muertas. Cuando la Tierra, la Luna y el Sol están en sicigia (luna nueva y luna llena), la resultante de las fuerzas de gravitación de los tres planetas genera las mayores amplitudes diarias de marea. Son las mareas vivas. Cuando los tres planetas están en cuadratura (cuarto menguante y cuarto creciente) se anulan parcialmente estas fuerzas y la amplitud mareal es menor. Son las mareas muertas.

FIGURA 11-5

Ciclos mareales y procesos astronómicos que los originan

A: Ciclos mareales semidiurnos diarios, vinculados al movimiento de rotación de la Tierra y la posición relativa de la Luna con respecto a cualquier punto terrestre durante un día. **B:** Ciclos mareales mensuales, asociados a la traslación de la Luna alrededor de la Tierra y la posición que ocupan Tierra y Luna respecto al Sol. Una vuelta de la Luna se completa en unos 28 días, cuatro semanas. **C:** Ciclos mareales anuales, que ocurren por la traslación del sistema Tierra-Luna alrededor del Sol.

FUENTE: Modificado de Castellanos y Luque 2009.



[3.3]
Mareas equinocciales y mareas astronómicas

El tercer patrón de mareas está asociado a la traslación de la Tierra y la Luna alrededor del Sol [FIGURA 11-5C]. Aunque en el paso de la Tierra por el perihelio las mareas son intensas, el momento en el que se registran las mayores mareas vivas del año es cuando el sistema Tierra-Luna atraviesa los equinoccios, a finales de marzo y de septiembre. Son las mareas equinocciales. Hay una o dos mareas equinocciales con las máximas alturas absolutas sobre el cero hidrográfico, las mareas altas astronómicas, que ocurren en los días del equinoccio, y suelen ser precedidas o seguidas de las más próximas a este nivel cero de referencia, las mareas bajas astronómicas. Estos días se da el mayor recorrido mareal posible y las mareas serán excepcionales si la Luna cruza el plano de la eclíptica entre la tierra y el Sol. En las marismas del litoral de Huelva se superan entonces los 4 metros sobre el cero hidrográfico y las mareas bajas llegan a marcar uno o dos centímetros sobre este cero teórico de referencia.

Los tres patrones se superponen y, según la época del año, las mareas altas y bajas diarias podrán ser vivas o muertas, equinocciales o incluso astronómicas [FIGURA 11-6].

FIGURA 11-6

Bajamar astronómica en el Canal del Padre Santo en las marismas de la desembocadura conjunta de los ríos Odiel y Tinto en Huelva.



[4]
Mareas, marismas y producción

Las marismas mareales se encuentran entre los ecosistemas con mayores producciones primarias netas del mundo, alcanzando valores similares a los de los bosques ecuatoriales y tropicales lluviosos y superando puntualmente estas cifras. En nuestras costas, la producción de las marismas está muy por encima de la de los arenales adyacentes con matorral o bosque litoral mediterráneo. Esto se debe a la importante entrada de energía subsidiada por las mareas, que sólo afecta a las zonas que se inundan a través de los numerosos canales que configuran la estructura de una marisma. La benignidad de un clima mediterráneo suavizado por la influencia atlántica, con temperaturas moderadas y una elevada radiación solar, permite que los valores altos de producción se mantengan durante casi todo el año en las marismas de Huelva.

No existen balances globales de producción en las marismas mareales de la costa de Huelva, sin embargo, por la mayor extensión de sus estuarios y la mayor amplitud de sus mareas, se presuponen más productivas que las del litoral andaluz mediterráneo. De estas últimas, las del Mediterráneo, sí se encuentran con más frecuencia valores de producción primaria neta de las especies que las caracterizan. Estas especies son siempre plantas vasculares halófilas, pero no hay datos de lo que aportan las microalgas bentónicas ni el fitoplancton.

[4.1]
Detritívoros y descomponedores

Es evidente el peso que tienen los ciclos de marea y los innumerables canales mareales en explicar el porqué de esta elevada producción en toda la marisma inundable, que se ve abonada dos veces al día por aguas muy ricas en nutrientes y en materia orgánica refractaria, disuelta o particulada. Sin embargo, este subsidio energético (Odum 1980) asociado a la redistribución por las mareas de la carga en nutrientes y materia orgánica generada por la propia marisma o alóctona aportada por el río, no sería tal sin la actuación de la comunidad microbiana, principalmente bacterias y hongos saprobios. Estos desempeñan un papel clave en el equilibrio y la dinámica ecológica de las marismas, al contribuir a la degradación de la materia orgánica compleja y al reciclaje de nutrientes, que quedan de nuevo a disposición del sistema. En particular, resulta relevante la función de los hongos marinos saprobios en la degradación de lignina y celulosa de los restos vegetales de halófitas (Calado *et al*. 2015) y la actuación de las bacterias en la rápida degradación de la materia orgánica lixiviada de la vegetación de marismas (Wang *et al*. 2014).

Los ciclos mareales diarios y los cambios cíclicos que en pocas horas éstos generan en las condiciones abióticas, afectan a la estructura de las comunidades microbianas activas presentes en el agua que inunda la marisma, aunque se mantienen estables las comunidades que viven en los sedimentos, donde tanto hongos como bacterias parecen desempeñar un papel importante en la descomposición anaeróbica de la materia orgánica (Kearns *et al*. 2018).

Es poco conocida la forma en que cambios permanentes en las condiciones abióticas puedan afectar la proporción activa de la comunidad microbiana, aunque se sabe que el incremento de la sa-

linidad y de la temperatura aceleran la descomposición de los restos vegetales que redistribuyen las mareas (Wu *et al*. 2017). Atendiendo a esto, es probable que el ciclo de nutrientes, la captura de sedimentos y el almacenamiento de carbono pudieran verse afectados de manera compleja por un clima más cálido, por patrones de precipitación alterados y por intrusiones marinas vinculados al cambio climático y al aumento del nivel del mar.

Tampoco se sabe aún qué importancia puede tener en estos procesos la ocupación masiva de las marismas por halófitas exóticas invasoras. Su presencia, en detrimento de las especies autóctonas, puede suponer variaciones en los valores de producción, en los flujos de energía y su intercambio con otros ecosistemas vinculados, en la capacidad de secuestro de carbono del suelo por cambios inducidos en las actividades microbianas, en el contenido de carbono orgánico en los sedimentos y en los balances de las emisiones de metano y óxido de nitrógeno con la atmósfera. En nuestras marismas, la gramínea invasora *Spartina densiflora* llega a ocupar amplias extensiones de marisma media y alta (*mares de espartina*) y registra altos valores de producción, superiores a los encontrados en los lugares de origen de la especie (Peixoto y Costa 2004). Sin embargo, con escasos consumidores locales y con tasas de descomposición aparentemente bajas, la gramínea mantiene su biomasa muerta estante durante mucho tiempo. A los elevados valores de producción de las marismas invadidas por *Spartina densiflora* se contraponen muy probablemente bajas tasas de renovación, permaneciendo la energía fijada por estos productores primarios durante más tiempo sin estar disponible para otras comunidades, sedentarias o no, de la biocenosis de la marisma.

La meiofauna y la mesofauna son también un componente esencial en las asociaciones heterótrofas de las marismas, al proporcionar un enlace trófico entre los detritos de las plantas y las comunidades microbianas y de macroinvertebrados asociadas, y su contribución e importancia a la descomposición en marismas mareales empieza ahora a ser comprendida (Haynert *et al*. 2017). Los copépodos bentónicos dominan las comunidades meiofaunales de fitodetritos marinos, tanto en términos de abundancia numérica como de diversidad de especies (Mascart *et al*. 2018), por lo que es probable que en marismas mareales estos grupos biológicos tengan también un protagonismo relevante. En ecosistemas lóticos continentales sí se ha comprobado como cladóceros y copépodos agregan complejidad a las redes alimentarias detríticas al aumentar la diversidad vertical y modular las interacciones bióticas, con importantes consecuencias para las transferencias de carbono y energía (Chambord *et al*. 2017).

[5]
Marismas, producción y otros ecosistemas asociados

[5.1]
Escala local versus escala regional

La elevada producción de las marismas mareales las ha llevado a ser consideradas determinantes, a su vez, de la producción de los estuarios que las bañan y de los ecosistemas costeros próximos, al

exportar hacia ellos una importante carga de detritos, principalmente de macrófitos. Para Teal (1962) las mareas eliminan el 45% de la producción antes de que los consumidores de las marismas tengan la oportunidad de usarla y, al hacerlo, permiten que los estuarios puedan albergar una importante fauna. Este paradigma clásico del *outwelling* ha sido y sigue siendo revisado, vinculándose su confirmación o rechazo al caudal de los ríos, a la frecuencia y la amplitud mareales, a la geomorfología costera, a la edad funcional de la marisma, a periodos puntuales asociados a las grandes mareas equinocciales y a las tormentas o al secuestro de carbono azul.

Son complejos los procesos que explican el balance de carbono en ecosistemas costeros con vegetación (Nixon 1980, Hopkinson 1988, Kristensen *et al.* 2008), y no todos los estudios coinciden con el paradigma de Teal (1962) sobre la generalidad de estos ecosistemas como grandes exportadores de materia orgánica que respaldan gran parte de la producción secundaria de estuarios y aguas litorales próximas. No queda claro si las marismas mareales son exportadoras netas o importadoras de materia orgánica (Nixon 1980, Hopkinson 1988, Odum 2000). Más bien, la relación real dependerá en gran medida del régimen de inundación, la geomorfología y la forma de materia orgánica (disuelta/partícula), o el tipo de nutriente (carbono/nitrógeno), y podría modificarse en función de los cambios ambientales que puedan darse en el futuro próximo (Duarte *et al*. 2017). En este sentido, en la actualidad existen cada vez más estudios que se enfocan en el papel de la vegetación de los ecosistemas costeros, entre ellos las marismas, como sumideros de carbono azul debido a su eficiencia en la captura de materia en suspensión durante las inundaciones y la producción orgánica asociada (Mcleod *et al*. 2011). El carbono secuestrado puede ser devuelto a la atmósfera, enterrado por largos períodos de tiempo, o exportado a los ecosistemas adyacentes, pero queda por dilucidar qué pesará más y qué menos en el balance total del carbono y el papel que esto pueda desempeñar en el cambio climático global. Se ha profundizado poco en la relación entre la producción aérea e hipogea de las halófitas de marismas, en las tasas de renovación de su biomasa, o en la relación producción-acreción y por lo tanto en la mineralización *in situ* de la materia, aunque se sabe que la descomposición de las raíces en marismas tiene un papel muy importante en el balance global de carbono, pudiendo llegar a suponer hasta el 80% de la tasa de acumulación de carbono almacenado en los sedimentos (Ouyang *et al*. 2017).

A escala regional, en el balance del carbono costero se debería incluir explícitamente lo que ocurre en humedales mareales, en los estuarios y en las aguas litorales adyacentes, así como los vínculos entre ellos. En particular, el peso de las marismas mareales en este balance es muy importante a pesar de suponer una extensión muy pequeña respecto a la del estuario y el litoral, por lo que ignorar cualquiera de estos ecosistemas puede producir una imagen sesgada del ciclo del carbono costero (Najjar *et al*. 2018). La relevancia de las marismas mareales del litoral onubense trasciende por tanto del ámbito local de cada una de ellas, siendo ecosistemas fundamentales en el funcionamiento de toda la costa del Golfo de Cádiz, desde Tarifa hasta Sagres.

Desde esta perspectiva regional, algunos estudios han apuntado la idea de que la exportación desde las marismas y el estuario a las costas próximas es probablemente más por biomasa de peces juveniles y por relaciones tróficas asociadas a migraciones ontogénicas y cíclicas de las especies nectónicas que por exportación de detritus orgánicos (Deegan *et al*. 2000). La significativa contribución de los productores primarios de marismas, vía red trófica, a la producción pesquera del estuario y el litoral es una certeza (Baker *et al*. 2016, Raoult *et al*. 2018).

[5.2]
Escala regional y escala global

En el caso de las marismas del litoral de Huelva, la importancia de su producción supera la escala regional y alcanza relevancia global. A ello contribuye también su posición biogeográfica. Miles de aves limícolas y acuáticas que siguen cada año la ruta migratoria del Atlántico Este, con requerimientos energéticos extremadamente altos y altísimas tasas de alimentación, dependen de la producción de nuestras marismas en su camino entre las zonas de invernada y las de reproducción y cría, utilizándolas para descansar y reponer energía [FIGURA 11-7]. Las relaciones tróficas que se establecen en este caso tampoco son simples, y están sujetas a variaciones estacionales de distribución y abundancia de predadores y presas. En las marismas del Odiel se ha comprobado que existe una elevada variación espacial y temporal en la dieta de aves limícolas (Charadriiformes) durante su migración en el Sur de Europa (Sánchez *et al*. 2005, 2006a y b). Para el archibebe común (*Tringa totanus*), la abundancia de diferentes grupos de invertebrados en egagrópilas varía estacionalmente. En primavera pupas y lar-

FIGURA **11-7**

Aves limícolas (agujas y correlimos) y **zancudas** (garceta y espátulas) alimentándose y descansando en las marismas del río Odiel.



vas de *Chironomus salinarius* dominan en volumen, seguidas por larvas de *Ephydridae* y *Paracymus aenus*. Poliquetos y moluscos predominan en otoño, e isópodos en invierno. En otoño, larvas de quironómidos, semillas de *Mesembryanthemum nodiflorum* y quistes de *Artemia* son relativamente más abundantes en heces, y poliquetos, isópodos y moluscos aparecen más en egagrópilas.

A su vez, estas aves juegan un importante papel en la distribución de otros organismos actuando como vectores de dispersión (Sánchez *et al*. 2006c, 2007, García-Álvarez *et al*. 2015).

El paradigma del *outwelling* para las marismas mareales (Teal 1962) se podría redefinir, por tanto, desde una perspectiva temporal más compleja y a una escala espacial regional y global. Resulta evidente, que la producción de las marismas del litoral onubense, en el marco del litoral suratlántico peninsular es, cuanto menos, cualitativamente de gran valor, tanto por su situación geográfica como por la variedad de los recursos que ofrece. La trascendencia ecológica de las marismas de Huelva supera su ámbito geográfico local y repercute directamente en el mantenimiento de las biocenosis de otros ecosistemas, que temporalmente llegan a formar parte de la biocenosis propia de la marisma. A escala regional, las marismas, son la zona de cría y guardería de numerosas especies animales, algunas de ellas de interés comercial para piscicultivos y para la pesca de bajura en el Golfo de Cádiz. A escala global, no es casual tampoco que las marismas del litoral onubense sean mundialmente reconocidas por su importancia ornitológica, ya que suponen una pieza fundamental para el sostenimiento de las aves de humedales alejados a cientos o miles de kilómetros que, en sus amplias rutas migratorias, encuentran en las marismas de Huelva puntos de alimentación, descanso y reproducción (Sánchez *et al*. 2005, 2006a y b).

Esto justifica la necesidad de conservarlas para preservar su estructura y los procesos ecológicos que determinan las funciones que desempeñan y los bienes y servicios que nos ofrecen como ecosistema.

[6]
Mareas, gradientes y adaptaciones

Una consecuencia de la dinámica mareal es que se generan fuertes gradientes para algunos de los factores abióticos determinantes en los procesos ecológicos de las marismas mareales. La duración y la frecuencia de las inundaciones, la salinidad, el pH, la disponibilidad de oxígeno en el suelo y su grado de encharcamiento, la incidencia mecánica del oleaje y la inestabilidad de los sedimentos oscilan marcadamente con la topografía del terreno y varían significativamente desde el extremo más oceánico de una marisma, más próximo a los niveles de marea baja, hasta el extremo más terrestre, más próximo a los niveles de marea alta. Hacia el límite más bajo e inundable de la marisma, los valores son más extremos y, además, más homogéneos, y a medida que nos acercamos a los ecosistemas estrictamente terrestres, se incrementa la heterogeneidad ambiental. Esto posibilita un gradiente de diversidad de organismos, con menor número de especies bajo las condiciones más duras cerca del límite de la inundación permanente y, al contrario, de mayor riqueza, con un ambiente más variables y, en general, más suave hacia el margen con menor duración y frecuencia de inundación. Cambios microtopograficos de cubetas y *levées* propician la retención de agua durante las bajamares y alteran esos gradientes.

En cualquier caso, en toda la marisma, para cada uno de estos factores abióticos, se dan valores que son extremos para la mayoría de los organismos vivos, comparados con los que se registran en los ecosistemas adyacentes, y solo especies evolutivamente adaptadas habitan estos ambientes. Todas las adaptaciones a un medio tan hostil tienen un coste energético elevado para los organismos vivos, bien para proteger los mecanismos internos de las condiciones extremas externas, bien para aumentar la eficiencia de los procesos bioquímicos en situaciones de estrés ambiental.

[6.1]
Mar, oleaje y movilidad

La fauna de las marismas mareales es tanto de afinidad marina como terrestre, principalmente invertebrados. En el extremo de la marisma más próximo al mar predominan los del primer grupo, que son más activos durante las inundaciones de marea, pero en marea baja se esconden en los sedimentos, cierran sus conchas generando microclimas con alta humedad o migran al mar. En el margen más continentalizado de la marisma abundan los organismos de afinidad terrestres, que están más presentes durante las bajamares y se desplazan a tierra o se refugian en pequeñas burbujas de aire sujetas a tallos y hojas durante las pleamares.

En el caso de la vegetación, que no puede desplazarse, en la marisma baja las especies crecen poco en altura y despliegan sistemas radiculares que retienen y estabilizan los sedimentos. Algunas desarrollan extensos sistemas rizomatosos de los que emergen tallos aéreos cortos y laxamente dispuestos, en guerrilla. Otras se expanden formando mullidos doseles vegetales que amortiguan el impacto de las olas, mientras que con sus raíces adventicias se sujetan a los fangos y los retienen. Las plantas incrementan su altura media desde la marisma más baja hacia la marisma alta, a medida que disminuye el estrés mecánico por el impacto de las olas y se estabilizan los sedimentos por el menor tiempo y frecuencia de inundación, aumentando la competencia en altura por el espacio y por la luz .

La vegetación solo dispone además de agua marina, en la que cada litro contiene aproximadamente 35 gramos de sales, principalmente de cloruro sódico, que baña los suelos de las marismas dos veces al día, salinizando el sustrato.

En los ambientes de clima mediterráneo, los gradientes de salinidad del suelo en las marismas mareales tienen un marcado carácter estacional. Tras las mareas equinocciales de septiembre, las lluvias desde otoño a primavera lavan durante unos meses los suelos de la marisma alta, la más continentalizada, propiciando suelos menos salinos que los de la marisma baja, que permanecen más tiempo inundados y con más frecuencia por agua marina. Este gradiente se invierte con las altas tasas de evapotranspiración del amplio verano mediterráneo. En la marisma baja se mantiene la salinidad, pero en la marisma alta se dispara y la sal llega a precipitar en costras salinas en las cubetas de la marisma alta, donde el agua queda retenida tras mareas vivas o equinocciales y se evapora rápidamente. Son las cubetas hipersalinas.

Sólo la vegetación halófila es capaz vivir con agua de mar y en suelos salinos, eso sí, con adaptaciones específicas y un coste energético en respiración muy elevado para eliminar la sal. Este gasto respiratorio se incrementa si las plantas crecen sobre fangos carentes de oxígenos y con potenciales

rédox muy negativos. Por ello, los gradientes físico-químicos más importantes son los de salinidad y los de óxido-reducción de los sedimentos, que vienen establecidos por la textura del suelo y por la duración y la frecuencia de las inundaciones mareales en cada zona de la marisma en relación con su altura topográficas sobre el nivel del mar.

[6.2] Adaptaciones a la carencia de oxígeno

La disponibilidad de oxígeno en los sedimentos condiciona la química de los suelos de marismas. Cuando predominan limos y arcillas, los suelos quedan encharcados durante la bajamar, y se favorecen los procesos anóxicos. Por el contrario, texturas arenosas favorecen la percolación del agua y una mayor disponibilidad de oxígeno en los suelos al retirarse el mar. Cubetas y *levées*, que atrapan sedimentos finos, retienen agua durante las bajamares propiciando suelos fuertemente reducidos.

Para adaptarse a la carencia de oxígeno en los sedimentos, la fauna ha desarrollado mecanismos fisiológicos y estructurales, como mejoras en tejidos u órganos, mecanismos que incrementan los gradientes de oxígeno hacia el cuerpo, mejoras en el sistema circulatorio o pigmentos respiratorios más eficientes. En la tolerancia al estrés de la fauna intermareal parecen tener un papel fundamental las adaptaciones mitocondriales. Los animales de estos ambientes altamente estresantes pueden mantener la integridad y función mitocondrial a pesar de soportar fluctuaciones intensas y rápidas en la disponibilidad de oxígeno y de los cambios asociados que ello conlleva en el medio intracelular (Sokolova 2018).

La vegetación vascular se ha adaptado estructuralmente, con el desarrollo de poros en el tejido cortical que difunden oxígeno desde los órganos aéreos de las plantas hasta las raíces. Se generan microambientes oxidados de décimas de milímetros, lo que facilita la absorción radicular de los nutrientes en sedimentos altamente reducidos.

En última instancia para la vegetación, la falta de oxígeno en los sedimentos tiene un efecto directo sobre la fotosíntesis y por tanto sobre la producción neta de cada especie, lo que resulta determinante para establecer su límite de distribución más bajo en las zonas inundables, como se ha comprobado en las marismas mareales de los ríos Tinto y Odiel (Castillo *et al*. 2000).

[6.3] Adaptaciones a la salinidad

Los organismos de marismas mareales viven en una situación paradójica. El agua, necesaria para todas las funciones vitales, aun siendo muy abundante, no se encuentra fácilmente disponible para ellos, por su elevada concentración salina. Tanto en plantas como animales, se han desarrollado tejidos u órganos especializados que regulan la concentración salina interna y protegen al organismo del efecto de la sal (osmorreguladores) o que incrementan la tolerancia fisiológica y metabólica a altas concentraciones salinas (osmoconformes). Estos procesos de regulación, tolerancia

y protección no son energéticamente baratos y los organismos, eurihalinos, deben responder ante un amplio rango de variaciones de salinidad y a potenciales hídricos muy negativos en los suelos, por lo que una mejor eficiencia en el uso del agua supone una clara ventaja competitiva.

En relación a las adaptaciones a la salinidad del medio, el grupo biológico más característico es el de la vegetación amante (*filo*) de la sal (*halo*). La vegetación halófila no sólo tolera la salinidad en el medio, sino que algunas especies necesitan vivir en presencia de una determinada concentración salina para alcanzar su estado de desarrollo óptimo. En las marismas del río Odiel, una especie característica de zonas elevadas, *Atriplex portulacoides*, estimula su capacidad de carboxilación a una moderada salinidad, incrementando así su tasa de crecimiento (Redondo-Gómez *et al*. 2007).

La acumulación de sales en vacuolas, la producción de moléculas osmóticamente activas, la excreción de sales por glándulas especializadas o la exclusión selectiva de iones en las raíces son los mecanismos que permiten vivir a las halofitas en estos ambientes salinos extremos.

En las marismas de Huelva son frecuentes los géneros *Arthrocnemum*, *Sarcocornia* y *Salicornia*, de la familia *Chenopodiaceae*. Estas halófitas suculentas se liberan del exceso de sal acumulándola en las vacuolas situadas en la punta de algunos de sus tallos articulados [FIGURA 11-8 A Y B], que posterior-

FIGURA 11-8

Adaptaciones de las halófitas a la salinidad del medio

Detalle de los tallos crasos de las quenopodiáceas **A:** *Arthrocmemum macrostachyum* y **B:** *Sarcocornia fruticosa*. **C:** Ligera capa de sal fina y carbonatos sobre las hojas de la plumbaginácea *Limoniastrum monopetalum*, llamada comúnmente *salado*. **D:** Granos de sal en el envés de hojas de la gramínea *Spartina densiflora*.



mente se secan, mueren y se desprenden de la planta. Son también abundantes las plumbagináceas (*Plumbaginaceae*), como *Limoniastrum monopetalum*, y gramíneas, del género *Spartina*, que excretan el exceso de sal incorporado a sus tejidos mediante glándulas especiales que se encuentran en sus hojas, donde pueden observarse con facilidad pequeños cristales de sal, cuando la marea no cubre a estas plantas [FIGURA 11-8 C Y D], especialmente durante la época estival. En las gramíneas se observan también características xeromórficas, como el enrollamiento de las hojas para evitar pérdidas de agua, y géneros como *Limonium* y *Spartina* presentan esclerofilia como mecanismos de resistencia hídrica.

Se ha demostrado que las adaptaciones a la salinidad de las halófitas son también una ventaja para estas plantas frente a la toxicidad por metales. Los estuarios son sumideros de metales pesados, entre otros contaminantes, que se liberan directamente en ellos o que se transportan desde los ríos que drenan su cuenca. Estos metales acaban retenidos por los sedimentos ricos en arcillas de las marismas y concentrados en sus suelos. La vegetación halófila responde bien a la toxicidad por altas concentraciones de estos metales, que acumulan en sus tejidos (Luque *et al*. 1999), y la disponibilidad de sal les permite reducir su efecto fotoinhibidor (Mateos-Naranjo *et al*. 2014, 2018). Además, deben tenerse en cuenta las interacciones planta-microbio en condiciones de estrés abiótico, tanto por salinidad como por toxicidad de iones metálicos. Así, en las marismas del río Tinto, la gramínea *Spartina maritima* parece capaz de incrementar la biomasa de su raíz y aumentar su capacidad de rizoacumulación de metales pesados en suelos contaminados gracias a la comunidad bacteriana de su rizosfera (Mesa *et al*. 2018).

Un resultado evolutivo de los cambios en gradiente de los factores abióticos en las marismas mareales es la plasticidad fenotípica y genotípica que presentan los halófitos. Desde una perspectiva global, las duras condiciones abióticas en las marismas mareales han restringido el número de especies vegetales adaptadas a estos ambientes. Sin embargo, las innumerables combinaciones ambientales que genera la inundación periódica en estos ecosistemas, por sus características topográficas y microtopografícas, les han conferido una alta capacidad modular de respuesta a los cambios y son frecuentes los ecotipos y polimorfismos genéticos en algunos taxones, como las quenopodiáceas (Figueroa *et al*. 2003, Davy *et al*. 2006). La importancia de este hecho está aún por determinar, especialmente en los bienes y servicios que el conocimiento de cómo funcionan y de sus aplicaciones nos proporcione en aspectos fundamentales como la alimentación, la remediación ambiental, los retos farmacéuticos y biotecnológicos o la bioenergía.

[6.4] Gradientes y zonación

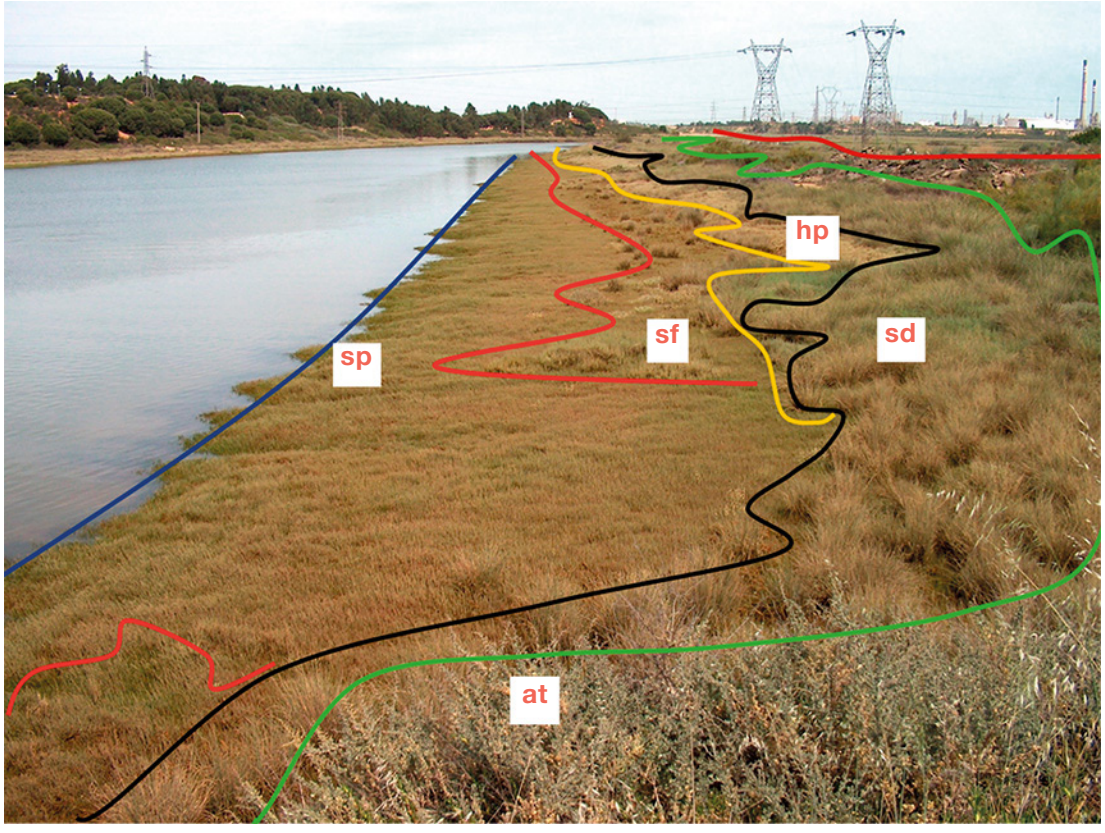
El principal resultado de la existencia de estos marcados gradientes ambientales es la distribución de los organismos en la marisma en función de su grado de adaptación y tolerancia a los factores abióticos y de la competencia con otras especies en el uso de los recursos. En definitiva, de su balance energético. Desde una perspectiva energética simplificada, el balance positivo entre producción neta y respiración será el que determine los límites inferiores de distribución de la vegetación halófila de la marisma, dado el elevado gasto energético metabólico necesario para tolerar la inundación mareal, mantener el equilibrio salino interno y contrarrestar la reiterada falta de oxígeno en la rizosfera. Evolutivamente, con

carácter general, mejoras adaptativas a los extremos ambientales se intercambian con una reducción en la capacidad competitiva de las especies. Es frecuente ver por ello una distribución en zonación de la vegetación de la marisma, dado que, para cada especie, pesa más sobre sus límites de distribución hacia el mar, la tolerancia fisiológica a los factores abióticos, mientras que los bióticos, particularmente la competencia, condicionan su expansión hacia el continente (Adams 1993), aunque regulados estos úl-

FIGURA 11-9

Marisma en el tramo final del Estero de Domingo Rubio

El dosel vegetal de *Sarcocornia perennis* **(sp)**, más próxima al agua, forma un manto mullido y poco elevado que le permite soportar el impacto del oleaje. Las demás especies, *Sarcocornia fruticosa* **(sf)**, *Halimione portulacoides* **(hp)**, *Spartina densiflora* **(sd)** y *Atriplex halimus* **(at)**, van ganando en porte con el aumento de su distancia al agua, al disminuir la frecuencia de inundación y de golpeo de las olas sobre ellas. Se aprecia una clara distribución en zonación de estas especies, que forman bandas monoespecíficas paralelas a la línea de marea (en azul). Las demás líneas marcan la separación virtual de estas bandas.



timos por los factores físico-químicos relacionados con la elevación. En bajamar, se aprecia así como la vegetación configura bandas monoespecíficas diferenciadas, paralelas a la línea de marea. [FIGURA 11-9].

La zonación suele ser más clara en espacios topográficamente más bajos, donde los periodos y la frecuencia de inundación son mayores y menor el número de especies adaptadas a condiciones ambientales tan duras. Este patrón general se ve alterado y, en conjunto, se observan paisajes con manchas de vegetación que se superponen a las bandas zonales (Adams 1993). Las cubetas, las cubetas hipersalinas, los *levées*, los canales, las variaciones microtopográficas y, en nuestras marismas, las modificaciones estacionales de los gradientes de salinidad del suelo fragmentan las bandas y permiten parches de vegetación. Una vez establecida, es esta vegetación la que define la matriz principal de la estructura biótica en las marismas mareales.

Es frecuente que los vientos dominantes de mar a tierra en el litoral arrastren microscópicas gotas de agua hacia el continente (espray salino) y salinicen el suelo, desplazando hacia tierra el límite superior de distribución de las halófitas. Además de sal, muchos otros elementos minerales enriquecen unos suelos más arenosos y pobres que ya no reciben el subsidio nutritivo de las inundaciones mareales.

[7]
Vegetación y fauna

La vegetación en el ámbito estricto de influencia mareal está limitada a las halófitas. Sin embargo, junto a la elevada salinidad del medio, otros factores determinantes como la duración y frecuencia de inundación y la carencia de oxígeno en los suelos hacen que el número de taxones vegetales adaptados a estas duras condiciones ambientales no sea muy elevado. En las marismas del litoral onubense destaca la familia *Chenopodiaceae* (quenopodiáceas) [FIGURA 11-10A], representada por especies muy abundantes como las anuales *Salicornia ramosissima* y *Suaeda maritima* y las perennes, *Sarcocornia perennis* subs. *perennis*, *Sarcocornia fruticosa*, *Arthrocnemum macrostachyum*, *Halimione portulacoides* y *Suaeda vera*. Asociadas a las poblaciones de quenopodiáceas es habitual encontrar *Cistanche phelypaea* [FIGURA 11-10B], de la familia *Orobanchaceae*, plantas parásitas cuyo hospedador son individuos de la familia *Chenopodiaceae*.

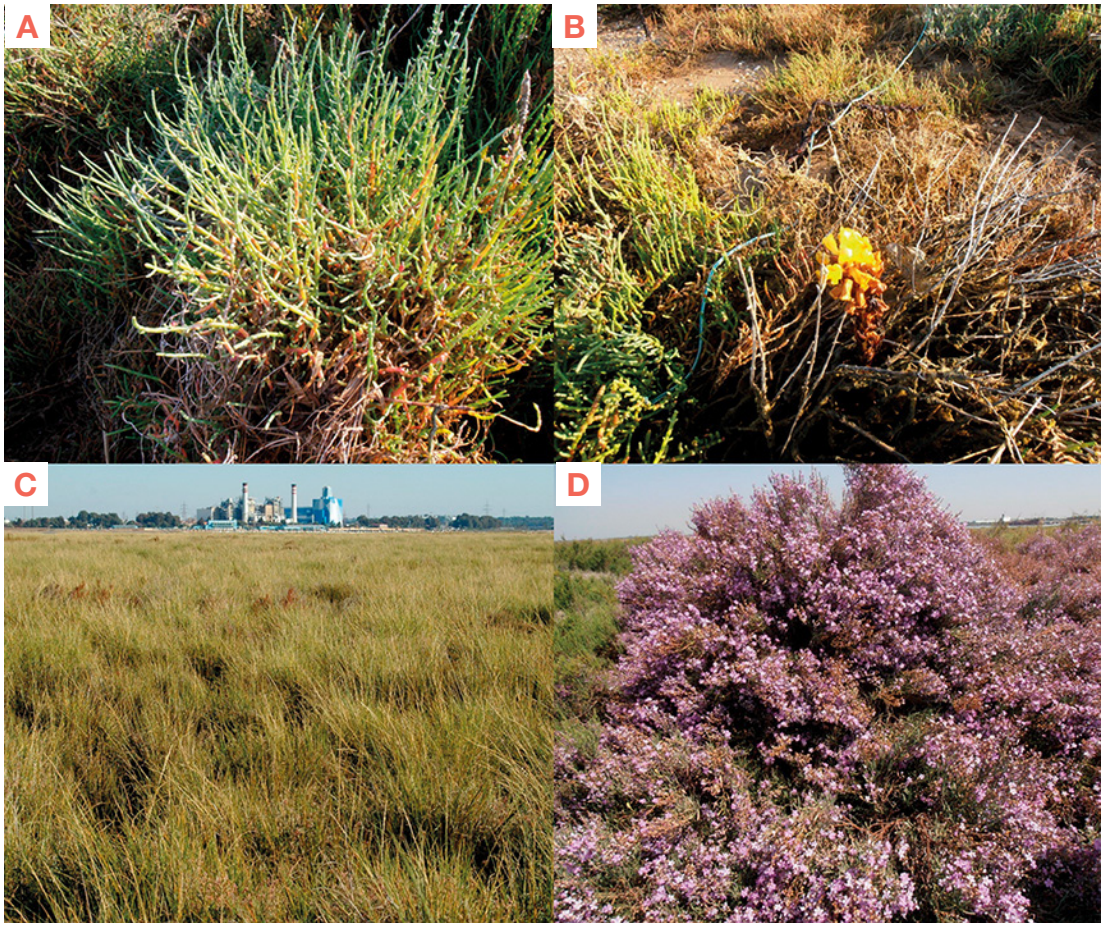
También son muy frecuentes las gramíneas (*Poaceae*), como la autóctona *Spartina maritima* y *Spartina densiflora*, especie exótica invasora que llega a ocupar de manera monoespecífica y permanente grandes planicies de marisma media y alta, los *mares de espartina* [FIGURA 11-10C].

En la marisma más alta, en los contactos con los ganchos arenosos y sobre estos mismos arenales, son característicos los matorrales de *Limoniastrum monopetalum* (*Plumbaginaceae*), que destacan con sus numerosas flores púrpuras durante el verano [FIGURA 11-10D]. En el extremo opuesto, los fangos más bajos, que quedan descubiertos de agua muy poco tiempo durante las mareas equinocciales, pueden estar ocupados por fanerógamas marinas como *Zostera noltii*.

La fauna invertebrada de las marismas mareales y de las salinas es muy importante, tanto su comunidad acuática como la que habita en los sedimentos. En las aguas de las balsas de las salinas, microcrustáceos del grupo de los copépodos, como *Cletocamptus retrogressus,* y de las artemias (*Artemia parthenogenetica*)

FIGURA 11-10

Vegetación característica de las marismas mareales del litoral onubense
A: *Sarcocornia fruticosa* (*Chenopodiaceae*). **B:** De color amarillo, *Cistanche phelipaea* (*Orobanchaceae*), parásita de las especies de la familia Quenopodiácea. **C:** Mar de espartina en las marismas del río Odiel, cubierta vegetal monoespecífica de la gramínea *Spartina densiflora*. **D:** *Limoniastrum monopetalum* (*Plumbaginaceae*).



constituyen los taxones más abundantes. Son también frecuentes las larvas de quironómidos (*Chironomus salinarius*). En determinados periodos, *Artemia parthenogenetica* llega a suponer más del 95% de la biomasa de invertebrados en estas aguas y su disponibilidad está fuertemente correlacionada con el número de aves acuáticas presentes, muchas migradoras, que se alimentan de ellas (Sánchez *et al*. 2006a y b).

En los sedimentos abundan poliquetos del genero *Nereis* y hay grandes poblaciones de cangrejos violinistas (*Uca tangerii*). Éstos no solo son importantes para la avifauna de las marismas, sino que forman parte del patrimonio etnológico de los habitantes del entorno. Se recolectan artesanalmente

las *bocas*, nombre local utilizado para designar la pinza grande del cangrejo violinista, y la *gusana* (*Nereis diversicolor*), que se captura en los fangos y se emplea como cebo para la pesca deportiva.

La fauna ornítica de la marisma es muy abundante y se desplaza de unos humedales a otros a lo largo del litoral Es también muy variada, con aves sedentarias y migradoras, estivales e invernantes, siendo sus grupos más representativos los láridos, las ardeidas, los limícolas, las anátidas, los flamencos y espátulas y las rapaces. La forma de sus picos está relacionada con la alimentación, que es muy variada dada la diversidad de microhábitats que se generan en las marismas, lo que también ha condicionado evolutivamente la forma de sus patas. Hay picos de pato para herbívoros y filtradores, en gancho para carnívoros, finos y largos para los que se alimentan de invertebrados acuáticos, con diferentes longitudes y curvaturas para los limícolas o como arpones para los piscívoros. Y patas palmeadas para nadar, lobuladas para nadar y andar por tierra, largas para andar sobre fangos y robustas con garras para agarrar presas.

Quizás el mayor grupo sea el de las aves limícolas, especialmente en los periodos de paso migratorio, cuando se congregan decenas de miles de ejemplares en las planicies fangosas intermareales o en las balsas de salinas. Avocetas (*Recurvirostra avosetta*), cigüeñuelas (*Himantopus himantopus*), agujas (*Limosa* spp.), archibebes (*Tringa* spp.), correlimos (*Calidris* spp.), chorlitejos (*Charadrius* spp.), chorlito gris (*Pluvialis squatarola*), zarapitos (*Numenius* spp.), ostreros (*Haematopus ostralegus*) y vuelvepiedras (*Arenaria interpres*) son algunos de los más numerosos.

Son abundantes también las gaviotas (*Larus* spp), el charrán patinegro (*Sterna sandvicensis*), la garza real (*Ardea cinerea*) e imperial (*Ardea purpurea)*, la cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*), el cormorán grande (*Phalacrocorax carbo*), los somormujos (*Podiceps cristatus*), el zampullín chico (*Tachybaptus ruficollis*), las canasteras (*Glareola pranticola*), y anátidas como el ánade real (*Anas platyrhynchos*), el ánade rabudo (*Anas acuta*) y el pato cuchara (*Anas clypeata*). Y destacan las colonias reproductoras de espátulas (*Platalea leucorodia*) y de flamencos, de las más importantes de Europa.

Entre las rapaces resaltan el aguilucho lagunero (*Circus aeruginosus*) y el águila pescadora (*Pandion haliaetus*). Ésta última, cuenta desde 2009 en las marismas del río Odiel con una población reproductora estable, después de no nidificar en el Golfo de Cádiz desde la década de los 80 del siglo pasado. En el litoral de Huelva el águila pescadora encuentra abundancia de lenguados (*Solea senegalensis, Solea solea*), lubinas (*Dicentrarchus labrax*) y doradas (*Sparus aurata*) que se crían de forma natural en los esteros de la marisma y las salinas.

[8]
Marismas mareales del litoral de Huelva

La práctica totalidad de la superficie que ocupan las marismas mareales del litoral de Huelva está incluida bajo algún tipo de figura de protección en Red la de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía. Están declaradas con una o varias figuras entre *Paraje Natural*, *Lugar de Interés Comunitario* (LIC), *Zona de Especial Conservación* (ZEC) y Zona de Especial Protección para Aves (ZEPA), y forman parte de la red de áreas de conservación de la biodiversidad en la Unión Europea, la Red Natura 2000, lo que resalta su elevado valor ecológico y su importancia a nivel mundial, y no solo para nuestro li-

toral y nuestra provincia. Son marismas mesomareales, con una relevante influencia del océano, que sube estuario arriba dos veces al día, por la red de canales mareales (canales y caños) de los ríos que desembocan en la provincia: Guadiana, Carreras, Piedras, Odiel y Tinto.

[8.1] Marismas de los ríos Guadiana y Carreras

Son las marismas más occidentales del litoral onubense. Forman un extenso complejo mareal, con numerosos canales y caños que le garantizan un buen funcionamiento. Incluye los espacios protegidos de la Red Natura 2000 *Isla de San Bruno*, en el municipio de Ayamonte, y *Marismas de Isla Cristina*, en el municipio de Isla Cristina, siendo éste último espacio protegido, además, Paraje Natural. En el Guadiana se extienden también sobre una parte de su orilla derecha, en la *Reserva Natural do Sapal de Castro Marim e Vila Real de Santo António*, en estos dos municipios portugueses. En conjunto son 4522 hectáreas protegidas, principalmente ocupadas por marismas mareales repartidas casi al 50% en cada orilla del estuario, que suponen un espacio verde de gran calidad para la Eurociudad del Guadiana e Isla Cristina. Una amplia superficie de estas marismas está transformada en salinas tradicionales, algunas en uso, otras convertidas en granjas piscícolas y bastantes abandonadas, aunque conservan su estructura.

La vegetación predominante está constituida por halófilas mareales, como *Spartina maritima* y *Sarcocornia perennis* en las zonas bajas y *Sarcocornia fruticosa*, *Arthrocnemum macrostachyum*, *Halimione portulacoides* y la exótica invasora *Spartina densiflora* en las zonas medias y altas. Esta última especie es muy abundante en la *Isla de San Bruno*, donde ocupa casi el 50% de su superficie, normalmente de manera monoespecífica (Luque *et al*. 2010).

Es posible observar también poblaciones de las fanerógama marina *Zostera noltii* en las zonas más inundables de las planicies fangosas mareales. Desde el punto de vista botánico destaca en este paraje la presencia de especies poco frecuentes en nuestras marismas, como son las compuestas *Artemisia caerulescens* subp. *caerulescens* y *Aster tripolium* subsp. *pannonicus*.

Entre la variada fauna que albergan estos espacios, destaca su importante colonia de espátulas (*Platalea leucorodia*), que nidifica en estas marismas. Abundan también los cormoranes grandes (*Phalacrocorax carbo*), los láridos (gaviotas) y las ardeidas, como garcetas (*Egretta garzetta*) y garzas reales (*Ardea cinérea*) e imperiales (*Ardea purpurea*), y son decenas de especies de aves limícolas las que usan estas marismas en sus migraciones.

[8.2] Marismas del río Piedras

Son las marismas mareales formadas en el tramo final del río Piedras, al abrigo de la Flecha del Rompido, un cordón litoral de arena de más de 12 kilómetros de longitud que hace que el estuario tenga una característica forma en L. En conjunto, más de 2800 hectáreas de los municipios de Cartaya y Lepe incluidas en la Red Natura 2000 bajo las denominaciones de *Marismas del Río Piedras* y *Flecha*

del Rompido, que es Paraje Natural, y *Estuario del Río Piedras*. Aunque en su conjunto las marismas están bien conservadas, una creciente actividad marítima recreativa, y la necesidad de dragar por ello la desembocadura del río, altera el crecimiento de la flecha, al deberse retirar periódicamente en esta zona los bajos arenosos que se depositan por deriva litoral.

La vegetación y la fauna son las características de las marismas mareales del litoral onubense. La fanerógama marina *Zostera noltii* se asienta principalmente sobre llanuras intermareales poco expuestas, de sustrato limoso o arena fina enriquecida de materia orgánica. La gramínea autóctona *Spartina maritima* está dispersa por todo el estuario y son abundantes las poblaciones de *Salicornia ramosissima*, *Sarcocornia perennis*, *Sarcocornia fruticosa* y *Arthrocnemum macrostachyum*. En estas marismas es donde se registra la menor presencia de *Spartina densiflora* en el litoral onubense (Luque *et al*. 2010). Numerosas aves usan estas marismas como lugares de alimentación, reproducción y descanso. Láridos, ardeidas, limícolas, anátidas, flamencos, cormoranes, espátulas y algunas rapaces, entre ellas el águila pescadora, utilizan los recursos que les ofrece este ecosistema.

[8.3] Marismas del río Odiel

Las marismas mareales del río Odiel son las más amplias del litoral onubense y se extienden, de norte a sur, desde Gibraleón hasta los arenales costeros adosados al dique Juan Carlos I y, de oeste a este, desde los pinares y enebrales de Punta Umbría hasta Huelva. Incluyen a los espacios protegidos de la Red Natura 2000 *Marismas del Odiel* y *Marisma de Las Carboneras*. *Marismas del Odiel* fue además el primero de los Parajes Naturales declarados en Andalucía en 1984. Es además Reserva de la Biosfera desde 1983 por el Programa MaB (Man and Biosphere -Hombre y Biosfera) de la UNESCO y está incluido en la Lista Ramsar de Humedales de Importancia Internacional desde desde 1989. En conjunto, estas figuras protegen algo más de 7400 hectáreas de espacios naturales de gran valor ecológico de los municipios de Aljaraque, Gibraleón, Huelva y Punta Umbría.

Estos espacios protegidos presentan una elevada riqueza de hábitats contrastados que posibilitan una amplia riqueza biológica: dunas, bosquetes litorales sobre arenales estabilizados, lagunas de agua dulce, graveras, monte de repoblación, pequeñas salinas tradicionales y extensas balsas de salinas industriales. Pero sin duda, destacan las marismas, que dan nombre al paraje natural.

Desde una perspectiva fisiográfica, podemos distinguir, al norte, una marisma más antigua y, al sur, una marisma joven y geomorfológicamente más dinámica. Entre ambas, una marisma central constituida por un complejo de islas separadas por numerosos canales mareales.

Cada invierno, las marismas del río Odiel acogen casi al 40 por ciento de todas las aves acuáticas que, desde Huelva hasta Ayamonte, encuentran durante sus rutas migratorias puntos de alimentación, descanso y reproducción en sus marismas mareales.

| 8.3.1 | La marisma norte

En la marisma norte, desde Huelva a Gibraleón, los depósitos sedimentarios son más antiguos y la red de canales y caños presenta un mayor grado de colmatación. Casi 600 hectáreas están prote-

gidas como *Reserva Natural Marisma del Burro*, un espacio relevante como hábitat para la colonia de espátulas (*Platalea leucorodia*) que habita en este humedal.

Son frecuente halófitas de marisma media-alta como *Sarcocornia fruticosa*, *Arthrocnemum macrostachyum* y *Halimione portulacoides* y hay extensos *mares de espartina*, grandes extensiones monoespecíficas de *Spartina densiflora*. Esta especie procedente de Sudamérica está presente, con mayor o menor intensidad, en todas las marismas del litoral de Huelva, pero es muy abundante en las marismas del río Odiel (Luque *et al*. 2010). Ocupa un ancho rango de hábitats, desde las dunas o la marisma alta hasta los fangos intermareales (Castillo *et al*. 2000), con un alto potencial competitivo frente a la vegetación autóctona, soportando con éxito casi todo el gradiente ambiental con influencia mareal y alcanza en las marismas del río Odiel sus máximos valores mundiales de producción (Peixoto y Costa 2004). Su presencia altera los patrones de distribución de las especies nativas, con importantes implicaciones ecológicas, estructurales y funcionales, como cambios en los canales de drenaje de la marisma, pérdida de hábitats y de biodiversidad, modificaciones en los procesos de descomposición o su hibridación con otras especies (Luque *et al*. 2006, Castellanos et al. 2010, Castillo et al. 2010).

En la marisma norte aparecen también amplias cubetas hipersalinas sin vegetación, por la elevada cantidad de sal que acumulan sus suelos.

| 8.3.2 | Las islas

La zona geográficamente central de las marismas del río Odiel, la conforma un complejo de islas situadas entre Huelva, Aljaraque y Punta Umbría. Las islas de Bacuta Norte, de Bacuta Sur, de Enmedio, de la Liebre, el borde continentalizado de Cajavías y la Marisma de Las Carboneras están separados por marcados caños y esteros que se ramifican dentro de cada isla configurando una red de drenaje muy densa, meandriforme o dendritiforme, profunda y muy funcional. De este conjunto de islas, 480 hectáreas de alto valor ecológico están declaradas como *Reserva Natural Isla de Enmedio*. Su vegetación predominante es de marisma media-alta, con *Sarcocornia perennis*, *Sarcocornia fruticosa*, *Arthrocnemum macrostachyum*, *Halimione portulacoides*, *Limoniastrum monopetalum* y *Spartina densiflora*, esta última con una importante presencia. La zona de islas y la marisma norte acumulan las mayores extensiones de *Spartina densiflora* en las marismas del río Odiel, con más de 1100 hectáreas en conjunto con coberturas superiores al 75% para esta especie, de las que casi 500 hectáreas las ocupa de manera monoespecífica (Luque *et al*. 2010).

Destaca la numerosa colonia de espátulas (*Platalea leucorodia*) y de ardeidas, con garzas reales (*Ardea cinérea*) e imperiales (*Ardea purpurea*) y garcillas cangrejera (*Ardeola ralloides*). Las espátulas de la Isla de Enmedio constituyen una de las mayores colonias nidificantes de esta especie en Europa, distribuida en diversos núcleos por toda la isla. En primavera construyen sus nidos sobre la vegetación inundable, por lo que una parte importante de sus puestas se suele ver afectada por las mareas equinocciales. De vida larga y migratoria, realiza un periodo de su ciclo de vida en África, desde donde vuelve para criar. Este espacio natural es además una etapa fundamental en su ruta migratoria entre África y el Norte de Europa.

Son frecuentes rapaces como el aguilucho lagunero (*Circus aeruginosus*) y el águila pescadora (*Pandion haliaetus*). Esta última, de alimentación exclusivamente piscícola que encuentra en los exten-

sos esteros de las salinas y en los canales y caños mareales, tiene en las marismas del río Odiel una población reproductora estable.

Son muy numerosas las aves limícolas que se alimentan en los fangos de los canales durante la marea baja, pero, sin duda, donde este último grupo cobra protagonismo es en las salinas industriales que ocupan Cajavías, la isla de la Liebre y casi la totalidad de Bacuta Norte.

Aunque la transformación en extensas salinas supuso la pérdida de unas 1000 hectáreas de marismas de alto valor ecológico, significó la aparición de otro interesante y extenso ecosistema en el interior del Paraje Natural. Aguas con distintas concentraciones salinas, donde no ocurren fluctuaciones mareales ni corrientes, con diferentes profundidades, favorecen la diversidad de hábitats que son empleados por numerosas especies de aves limícola y por zancudas, gaviotas y anátidas. Existen también salinas tradicionales que se han reconvertido parcialmente en piscifactorías, como las Salinas del Astur, en Punta Umbría, pero hay otras que han abandonado su actividad, como las de Bacuta Sur, aunque mantienen parcialmente su estructura, tanto por su importante contribución al patrimonio etnográfico como por los numerosos recursos que ofrecen a las aves para su alimentación, descanso y nidificación (Sánchez *et al*. 2006 a y b).

En las salinas, una de las especies más características es el flamenco (*Phoenicopterus ruber*). Desde 2008 de manera casi ininterrumpida, esta colonia cría en las salinas de las marismas del Odiel donde construye nidos de fango apilado que sobresalen del agua varios centímetros. Es un ave extremadamente gregaria que no suele asociarse con otras especies ni para criar, comer o descansar, agrupándose en bandos de cientos de ejemplares. En las colonias de cría, los pollos se reúnen en guarderías y son vigilados por los adultos tras abandonar el nido al cabo de dos semanas.

| 8.3.3 | La marisma sur

La zona sur de las marismas del río Odiel incluye la extensa isla de Saltés, donde ocurren los procesos geomorfológicos más dinámicos y recientes en todo el Paraje.

Al norte de esta isla se observan tres importantes ganchos arenosos, el Almendral, el Acebuchal y la Cascajera entre los que se asienta una marisma bien consolidada. El gancho más meridional, el de la Cascajera, lo ocupa uno de los bosques litorales mediterráneo en mejor estado de conservación.

El sur de Saltés es mucho más dinámico, aunque tras quedar dividida la isla de norte a sur por la construcción del espigón portuario Juan Carlos I, presenta dos zonas bien diferenciadas. La zona este del dique protege el Canal del Padre Santo permitiendo la actividad portuaria. Esta zona continúa recibiendo la mayoría de los sedimentos finos que transportan los ríos Odiel y Tinto, que van colmatando las marismas ya formadas que los reciben. Sin embargo, no llegan arenas de deriva litoral, por lo que desde entonces no se forman nuevas planicies fangosas mareales. Estas arenas se quedan retenidas en la cara oeste del espigón. Aquí sí se han configurado nuevas barras de arena y, a su abrigo, nuevas planicies de fangos. Pero al contrario que ocurre en la zona este, la tasa de sedimentación de limos y arcillas es menor y la marisma evoluciona lentamente. La vegetación predominante es de *Salicornia*, *Spartina maritima* y *Sarcocornia perenni* y en bajamar quedan descubiertos extensos rodales de *Zostera noltii*. Las extensas planicies limoarcillosas acogen a numerosas aves cuando la marea se retira, especialmente limícolas que se alimentan de los muchos invertebrados que habitan en sus fangos.

Son muy abundantes los poliquetos, como *Nereis diversicolor*, y los crustáceos, con poblaciones muy grandes de cangrejos violinistas (*Uca tangerii*).

| 8.3.4 | Marismas del río Tinto y del Estero de Domingo Rubio

Las marismas mareales en el estuario de río Tinto se extienden desde su unión con el Odiel en el Canal del Padre Santo hasta algo más arriba de San Juan del Puerto. Actualmente, una parte importante de las zonas afectadas por las mareas están protegidas dentro de la Red Natura 2000 con las denominaciones de *Marismas y Riberas del Tinto* y *Estuario del Tinto*, con más de 4100 hectáreas de extensión de los términos municipales de Huelva, Moguer, Palos de la Frontera, San Juan del Puerto y Trigueros. Estuario del Tinto incluye también el Canal del Padre Santo y el estuario del río Odiel desde la Punta del Sebo al Puente del Sifón, con 687 hectáreas de territorio marítimo fuera de los términos municipales. *Marismas y Riberas del Tinto* engloba a las marismas del Fortín en la zona inundable del Estero del Rincón, en Huelva, y la del arroyo Rivera de Nicoba, en San Juan del Puerto.

El Estero de Domingo Rubio, en su tramo final, es un característico canal mareal sinuoso que se localiza en la margen izquierda del río Tinto, justo donde confluye con el río Odiel, y es importante como humedal de agua continental en su tramo de cabecera y su tramo medio, tanto por la vegetación como por la fauna que alberga. Está incluido en la Red Natura 2000 y en su conjunto está protegido bajo la figura de Paraje Natural, ocupando casi 500 hectáreas de los términos municipales de Palos de la Frontera y Moguer.

Las zonas mareales de estos espacios están ocupadas por una vegetación halófila característica de quenopodiáceas (*Salicornia*, *Sarcoconia*, *Arthrocnemum*) y gramíneas (*Spartina*) y las planicies fangosas son frecuentadas en bajamar por numerosas aves limícolas.

Si bien el estado de conservación de estos espacios mareales, especialmente los del río Tinto, no es tan elevado como el del resto de marismas del litoral de Huelva, principalmente por la importante carga de metales que transporta el río desde su cabecera, es determinante el papel que estos ecosistemas desempeñan en la conectividad ecológica regional, lo que les atribuye especial relevancia desde la perspectiva de la gestión y de su preservación.

[9]
Por qué debemos conservar las marismas mareales del litoral de Huelva

Si cambiamos o destruimos la estructura de cualquier ecosistema, estamos alterando los procesos que esa estructura posibilita y por lo tanto mermando las funciones que realiza dicho ecosistema. Perdemos así parte de los bienes y servicios que el ecosistema nos ofrece.

Puede modificar la estructura biológica de una marisma, por ejemplo, su invasión masiva por especies alóctonas. Los mares de espartina disminuyen drásticamente la biodiversidad de los espacios que ocupan y el ecosistema deja de realizar las funciones vinculadas a los procesos que implicaban a las especies autóctonas que desaparecen.

Puede dañarse también su estructura abiótica, por ejemplo, si perturbamos o suprimimos parcialmente la red de canales mareales, y acabamos con la función tan importante que tienen de distribuir el agua del estuario rica en nutrientes por toda la marisma en cada pleamar.

En ambos casos, puede resultar afectado un bien importante que proporcionan las marismas mareales, su alta producción, y perderse o disminuir servicios que este ecosistema nos facilita, como ser el motor de la pesquería tanto del estuario que las alberga como del litoral adyacente.

Además de sus altas tasas de producción y su amplia diversidad biológica y paisajística, son muchos otros los bienes y servicios asociados a las marismas mareales. Están implicadas en el ciclo hidrológico y en los ciclos biogeoquímicos y su elevada carga en arcillas las convierten en sumidero de numerosos contaminantes, que quedan retenidos en los sedimentos y son aislados, controlados y reducidos por la vegetación, que actúa como fitorremediadora. Actúan como sumideros de carbono azul, el carbono capturado por los organismos fotosintéticos de los océanos del mundo y de los ecosistemas costeros, entre ellos las marismas, por lo que desempeñan un papel relevante en la mitigación del cambio climático. Modulan avenidas fluviales, fijan sedimentos con su vegetación, y estabilizan áreas litorales. Son el punto de inicio y de cierre del ciclo biológico de numerosas especies animales, algunas de gran interés comercial, y área de invernada y de descanso migratorio para numerosas especies de aves. Son importantes también sus valores socioculturales: pesca, marisqueo, producción de sal, cultivo de arroz, navegación, turismo y ocio.

Sin embargo, cada vez es mayor la presión a la que están sometidos estos ecosistemas y sufren daños, a veces irreversibles, en sus estructuras física y biológica. Las transformaciones intensivas para construir en o sobre las marismas grandes infraestructuras viarias, industriales o para acuicultura, cultivos o salinas extensivas, la alteración o destrucción de su red de canales, la fragmentación y pérdida de hábitats que ello conlleva para las numerosas especies que necesitan de las marismas en algún momento de su ciclo biológico, las altas tasas de erosión que se registran por la sobredimensión de estas actividades y el incremento desmesurado de contaminación en las cuencas hidrográficas de los ríos son las principales amenazas que se detectan y suponen un riesgo para su conservación. Esto unido a la creciente introducción de especies exóticas invasoras y a la subida del nivel del mar debido al cambio climático, hablan de la elevada tensión que soportan estos ecosistemas. Las marismas de los ríos Odiel y Tinto son paradigma de esta presión, a pesar de lo cual, gracias a su elevada resiliencia, mantienen los valores ecológicos que las hacen ecosistemas únicos a escala local, regional y global y que nos han concienciado de la necesidad de establecer para ellas y para el resto de las marismas de Huelva y de Andalucía figuras administrativas de protección ambiental.

Pero esto puede no ser suficiente. El medio ambiente es un bien común, y los recursos y servicios que nos ofrecen ecosistemas tan importantes como las marismas mareales, son de todos, por lo que no deben servir para el beneficio exclusivo de un sector de la sociedad. Su protección es incompleta si no se enfoca desde una gestión integral de las cuencas hidrográficas de los ríos y del litoral en los que estos desembocan y su salvaguarda debe ser el conjunto de la sociedad. Concienciarnos de la importancia de las marismas mareales para protegerlas y conservarlas, preservando la integridad de su estructura y sus funciones, no es sino permitir que nos sigan ofreciendo su riqueza a todos, a nosotros y a nuestras generaciones futuras.

[10] Bibliografía

- Adam, P. (1993). *Saltmarsh Ecology*. First paperback edition. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Balke, T.; Stock, M.; Jensen, K.; Bouma, T.J.; Kleyer, M. (2016). *A global analysis of the seaward salt marsh extent: the importance of tidal range*. Water Resources Research 52: 3775-3786.
- Baker, H.K.; Nelson, J.A.; Leslie, H.M. (2016). *Quantifying Striped Bass (Morone saxatilis) Dependence on Saltmarsh-Derived Productivity Using Stable Isotope Analysis*. Estuaries and Coasts 39: 1537-1542.
- Calado, M.L.; Carvalho, L.; Pang, K.L.; Barata, M. (2015). *Diversity and Ecological Characterization of Sporulating Higher Filamentous Marine Fungi Associated with Spartina maritima (Curtis) Fernald in Two Portuguese Salt Marshes*. Microbial Ecology 70: 612-633.
- Castellanos, E.M. (31 de enero de 2022). Las plantas ingenieras que construyen las marismas. https://theconversation.com/las-plantas-ingenieras-que-construyen-las-marismas-175744
- Castellanos, E.M.; Figueroa, M.E.; Davy, A.J. (1994). *Nucleation and facilitation in saltmarsh succession: interactions between Spartina maritima and Arthrocnemum perenne.* Journal of Ecology 82: 239-248. https://doi.org/10.2307/2261292
- Castellanos, E.M.; Luque, C.J. (2009). *Ecología de las Marismas Mareales de Andalucía*. En *Proyecto Andalucía. Tomo XXIX: Ecología II*. Cap. 8.; pp. 226-282. Publicaciones Comunitarias. Sevilla. ISBN Tomo: 978-84-936736-1-1; Obra: 978-84-933178-2-9.
- Castellanos, E.M.; Luque, C.J.; Mateos, E.; Castillo, J.; Figueroa, M.E.; Green, A.J. (2010). *Implicaciones ecológicas de la presencia de flora exótica invasora en ecosistemas de marismas. Estudio de un caso: Spartina densiflora*. En *Especies Exóticas Invasoras en Andalucía: Situación y líneas de Acción. Talleres provinciales 2004-2006*, pp. 124-131. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Castillo, J.M.; Ayres, D.R.; Leira-Doce, P; Bailey, J.; Blum, M.; Strong, D.R.; Luque, T.; Figueroa, E. (2010). *The production of hybrids with high ecological amplitude between exotic Spartina densiflora and native S. maritima in the Iberian Peninsula.* Diversity and Distributions 16: 547-558.
- Castillo, J.M.; Fernandez-Baco, L.; Castellanos, E.M.; Luque, C.J.; Figueroa, M.E.; Davy, A.J. (2000). *Lower limits of Spartina densiflora and S. maritima in a Mediterranean salt marsh determined by different ecophysiological tolerances*. Journal of Ecology 88: 801-812. https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2000.00492.x
- Castillo, J.M.; Gallego-Tébar, B.; Castellanos, E.M.; Figueroa, M.E.; Davy, A.J. (2021). *Primary succession in an Atlantic salt marsh: From intertidal flats to mid-marsh platform in 35 years*. Journal of Ecology 109: 2909-2921. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13692
- Chambord, S.; Tackx, M.; Chauvet, E.; Escolar, G.; Colas, F. (2017). *Two microcrustaceans affect microbial and macroinvertebrate-driven litter breakdown*. Freshwater Biology 62: 530-543.
- Christiansen, T.; Wiberg, P.L.; Milligan, T.G. (2000). *Flow and Sediment Transport on a Tidal Salt Marsh Surface*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 50: 315-331.
- Coles, S.M. (1979). *Benthic microalgal populations on intertital sediments and their role as precursor to salt marsh development*. En *Ecological processes in coastal environments* (eds. Jefferies RL & Davy AJ), pp. 25-42. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

- Davy, A.J.; Bishop, G.F.; Mossman, H.; Redondo-Gomez, S.; Castillo, JM.; Castellanos, E.M.; Luque, T.; Figueroa, M.E. (2006). *Biological flora of the British Isles: Sarcocornia perennis (Miller) A.J. Scott*. Journal of Ecology 94: 1035-1048. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01156.x
- Deegan, L.A.; Hughes, J.E.; Rountree, R.A. (2000). *Salt marsh ecosystem support of marine transient species*. En *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology* (eds. Weinstein MP & Kreeger DA), pp. 333-365. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Duarte, B.; Vaz, N.; Valentim, J.M.; Dias, J.M.; Silva, H.; Marques, J.C Sleimi, N.; Caçador, I. (2017). *Revisiting the outwelling hypothesis: Modelling salt marsh detrital metal exports under extreme climatic events*. Marine Chemistry 191: 24-33.
- Figueroa, M.E.; Castillo, J.M.; Redondo, S.; Luque, T.; Castellanos, E.M.; Nieva, F.J.; Luque, C.J.; Rubio-Casal, A.E; Davy, A.J. (2003). *Facilitated invasion by hybridization of Sarcocornia species in a salt-marsh succession.* Journal of Ecology 91: 616-626. https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2003.00794.x
- Flowers, T.J.; Colmer, T.D. (2015). *Plant salt tolerance: adaptations in halophytes*. Annals of Botany 115: 327–331.
- García-Álvarez, A.; van Leeuwen, C.H.A.; Luque, C.J.; Hussner A.; Vélez-Martín. A.; Pérez-Vázquez, A.; Green, A.J.; Castellanos, E.M. (2015). *Internal transport of alien and native plants by geese and ducks: an experimental study*. Freshwater Biology 60: 1316-1329. https://doi.org/10.1111/fwb.12567
- Haynert, K.; Kiggen, M.; Klarner, B.; Maraun, M.; Scheu, S. (2017). *The structure of salt marsh soil mesofauna food webs - The prevalence of disturbance*. *PLoS ONE* 12(12): e0189645. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189645
- Hopkinson, C.S. (1988). *Patterns of organic carbon exchange between coastal ecosystems: the mass balance approach in salt marsh ecosystems*. En Coastal-offshore Ecosystem Interactions. (Ed. Jansson B-O), pp. 122-154. Springer-Verlag, Berlin.
- Kearns, P.J.; Bulseco-McKim, A.N.; Hoyt, H.; Angell, J.H.; Bowen, J.L. (2018). *Nutrient Enrichment Alters Salt Marsh Fungal Communities and Promotes Putative Fungal Denitrifiers.* Microbial Ecology, 77: 358–369. https://doi.org/10.1007/s00248-018-1223-z.
- Kristensen, E.; Bouillon, S.; Dittmar, T.; Marchand, C. (2008). *Organic carbon dynamics in mangrove ecosytems: a review*. Aquatic Botany 89: 201-219.
- Luque, C.J.; Castellanos, E.M.; González-Vilches, M.C.; Figueroa, M.E. (1999). *Metals in halophytes of a contaminated estuary (Odiel Salt-Marshes, SW Spain).* Marine Pollution Bulletin 38: 49-51. https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)80012-5
- Luque, C.J.; Castellanos, E.M.; Castillo, J.M.; Figueroa, M.E. (2006). *Diversidad en marismas mediterráneas. II. Cambios de la diversidad específica*. En *Diversidad Ecológica y Biodiversidad*, pp. 63-66. Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid.
- Luque, C.J.; Castellanos, E.M.; Mateos-Naranjo, E.; Álvarez-López, A.A.; Rubio-Casal, A.; Redondo, S.; Figueroa, M.E. (2010). *Distribución y ocupación de Spartina densiflora en el litoral de la provincia de Huelva.* En *Especies Exóticas Invasoras en Andalucía: Situación y líneas de Acción. Talleres provinciales 2004-2006*, pp. 198-203. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Mascart, T.; De Troch, M.; Remy, F.; Michel, L.N.; Lepoint, G. (2018). *Seasonal dependence on seagrass detritus and trophic niche partitioning in four copepod eco-morphotypes.* Food Webs 16, *https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2018.e00086.*

- Mateos-Naranjo, E; Castellanos, E.M; Perez-Martin, A. (2014). *Zinc tolerance and accumulation in the halophytic species Juncus acutus*. Environmental and Experimental Botany 100: 114-121. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.023
- Mateos-Naranjo, E.; Pérez-Romero, J.A.; Redondo-Gómez, S.; Mesa-Marín, J.; Castellanos, E.M.; Davy, A.J. (2018). *Salinity alleviates zinc toxicity in the saltmarsh zinc-accumulator Juncus acutus.* Ecotoxicology and Environmental Safety 163: 478-485. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.092
- Mcleod, E.; Chmura, G.L.; Bouillon, S.; Salm, R.; Björk, M.; Duarte, C.M.; Lovelock, C.E.; Schlesinger, W,H. Silliman, B.R. (2011). *A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO2.* Frontiers in Ecology and Environment 9: 552-560.
- Mesa-Marin, J.; Fernandez Del-Saz, N.; Rodriguez-Llorente, I.D.; Redondo-Gómez, S.; Pajuelo, E.; Ribas-Carbó, M.; Mateos-Naranjo, E. (2018). *PGPR Reduce Root Respiration and Oxidative Stress Enhancing Spartina maritima Root Growth and Heavy Metal Rhizoaccumulation.* Frontiers in Plant Science 9: https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01500.
- Mitsch, W.J.; Gosselink, J.G. (2015). *Wetlands*. Fifth edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Najjar, R.G.; Herrmann, M.; Alexander, R.; et al. (2018). *Carbon Budget of Tidal Wetlands, Estuaries, and Shelf Waters of Eastern North America*. Global Biogeochemical Cycles 32: 389-416.
- Nixon, S.W. (1980). *Between coastal marshes and coastal waters: A review of twenty years of speculation and research on the role of salt marshes in estuarine productivity and water chemistry*. In: Estuarine and wetland processes. (Eds. Hamilton P & McDonald KB), pp. 437-525. Plenum Press, New York.
- Odum, E.P. (1980). *The status of three ecosystems-level hypotheses regarding salt marsh estuaries: tidal subsidy, outwelling, and detritus-based food chains*. In: Estuarine Perspectives (ed. Kennedy VS), pp. 485-495. Academic Press, New York.
- Odum, E.P. (2000). *Tidal marshes as outwelling/pulsing systems*. In: Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology (eds. Weinstein MP & Kreeger DA), pp. 3-7. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Ouyang, X.; Lee, S.Y.; Connolly, R.M. (2017). *The role of root decomposition in global mangrove and saltmarsh carbon budgets*. Earth-Science Reviews 166: 53-63.
- Peixoto, A.R.; Costa, C.S.B. (2004). *Produção primária líquida aérea de Spartina densiflora Brong. (Poaecea) no estuário da laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil.* Iheringia Série Botânica 59: 27-34.
- Pignatti, S.; Ubrizsy Savoia, A. (1989). *Early use of the succession concept by G.M. Lancisi in 1714*. Vegetatio 84: 113-115. https://www.jstor.org/stable/20038541
- Pratolongo, P.; Leonardi, N.; Kirby, J.R.; Plater, A. (2019). *Temperate Coastal Wetlands: Morphology, Sediment Processes, and Plant Communities*. In: *Coastal Wetlands. An Integrated Ecosystem Approach*. Second Edition. (Eds. Perillo G.; Wolanski E.; Cahoon R.; Hopkinson CS), pp. 105-152. Elsevier, Amsterdam.
- Raoult, V.; Gaston, T.F.; Taylor, M.D. (2018). *Habitat–fishery linkages in two major south-eastern Australian estuaries show that the C4 saltmarsh plant* Sporobolus virginicus is a significant contributor to fisheries productivity. Hydrobiologia 811: 221-238.
- Redondo-Gómez, S.; Mateos-Naranjo, E.; Davy, A.J.; Fernández-Muñoz, F.; Castellanos, E.M.; Luque, T.; Figueroa, M.E. (2007). *Growth and photosynthetic responses to salinity of the salt-marsh shrub Atriplex portulacoides*. Annals of Botany 100: 555-563. https://doi.org/10.1093/aob/mcm119

- Sánchez, M.I.; Green, A.J.; Castellanos, E.M. (2005). *Seasonal variation in the diet of Redshank Tringa totanus in the Odiel Marshes, southwest Spain: a comparison of faecal and pellet analysis.* Bird study 52: 210-216. https://doi.org/10.1080/00063650509461393
- Sánchez, M.I.; Green, A.J.; Castellanos, E.M. (2006a). *Spatial and temporal fluctuations in presence and use of chironomid prey by shorebirds in the Odiel saltpans, south-west Spain*. Hydrobiologia 567: 329-340. http://dx.doi.org/10.1007/s10750-006-0060-0
- Sánchez, M.I.; Green, A.J.; Castellanos, E.M. (2006b). *Temporal and spatial variation of an aquatic invertebrate community subjected to avian predation at the Odiel salt pans (SW Spain).* Archiv für Hydrobiologie 166: 199-223. http://dx.doi.org/10.1127/0003-9136/2006/0166-0199
- Sánchez, M.I.; Green, A.J.; Castellanos, E.M. (2006c). *Internal transport of seeds by migratory waders in the Odiel marshes, south-west Spain: consequences for long-distance dispersal.* Journal of Avian Biology 37: 201-206. https://doi.org/10.1111%2Fj.2006.0908-8857.03719.x
- Sánchez, M.I..; Green, A.J.; Amat, F.; Castellanos, E.M. (2007). *Transport of brine shrimps via the digestive system of migratory waders: dispersal probabilities depend on diet and season*. Marine Biology 151: 1407-1415. http://dx.doi.org/10.1007/s00227-006-0577-9
- Silvestri, S.; Defina, A.; Marani, M. (2005). *Tidal regime, salinity and salt marsh plant zonation.* Estuarine, Coastal and Shelf Science 62: 119-130.
- Sokolova, I. (2018). *Mitochondrial Adaptations to Variable Environments and Their Role in Animals' Stress Tolerance*. Integrative and Comparative Biology 58: 519-531.
- Stal, L.J. (2010). *Microphytobenthos as a biogeomorphological force in intertidal sediment stabilization*. Ecological Engineering 36: 236-245.
- Teal JM. (1962). *Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia.* Ecology 43: 614-624.
- Wang, X.; Chen, R.F.; Cable, J.E.; Cherrier, J. (2014). *Leaching and microbial degradation of dissolved organic matter from salt marsh plants and seagrasses*. Aquatic Sciences 76: 595-609.
- Wu, W.; Huang, H.; Biber, P.; Bethel, M. (2017). *Litter Decomposition of Spartina alterniflora and Juncus roemerianus: Implications of Climate Change in Salt Marshes*. Journal of Coastal Research 33: 372-384.





12

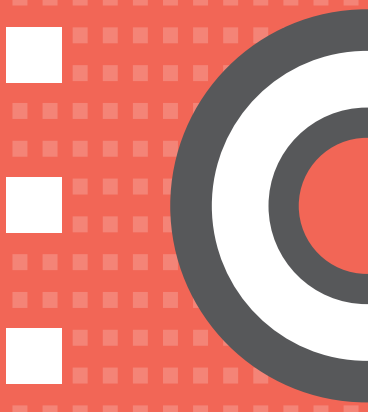
Ecología del litoral onubense |2| Sistemas dunares

Carlos J. Luque Palomo * || Eloy M. Castellanos Verdugo

Grupo de Investigación Ecología y Medio Ambiente (RNM-311). Área de Ecología. Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. Campus de El Carmen. Bulevar de las Artes y las Ciencias, s/n. E-21071-Huelva. España.

* Corresponding author | Dr. Carlos J. Luque Palomo || carlos.luque@dbasp.uhu.es

Tel.: +34 959 21 98 87 || Fax: +34 959 21 94 67



Ecología del litoral onubense |2| Sistemas dunares

Carlos J. Luque Palomo || Eloy M. Castellanos Verdugo

RESUMEN

Los sistemas dunares costeros son ecosistemas de transición de distribución mundial. Aunque están ceñidos a una pequeña franja del litoral, aportan importantes bienes y servicios ecosistémicos. Sin embargo, son espacios sometidos a una enorme tensión ambiental debido a la gran demanda por parte del hombre para establecer instalaciones y realizar otros usos y actividades en su territorio (viviendas, paseos marítimos, vías de comunicación, agricultura, balnearios, etc.). Se consideran espacios amenazados, y uno de los ecosistemas que han sufrido más alteraciones, llegando incluso a su eliminación.

Los factores ambientales que inciden resultan extremos para gran parte de los seres vivos, (inestabilidad del sustrato, escasez de nutrientes y agua dulce, elevada salinidad en suelo y aire, etc.), que restringen su establecimiento. Son pocas las especies adaptadas a los rigores de estos factores, que se suavizan a medida que se alejan de la costa, facilitando esto que la riqueza específica aumente. Aun así, las comunidades dunares tienen una gran importancia e interés. Además, hay que considerar que los sistemas dunares son ecosistemas frágiles, que se desestabilizan rápida y fácilmente, otro motivo para que sean protegidos.

Uno de los servicios más citados que prestan los sistemas dunares es proteger la costa frente a los temporales y avenidas. El mar lucha por recuperar su terreno usurpado por el hombre, entrando a veces en conflicto de forma agresiva, dejando ver sus efectos, con destrozos e inundaciones en los paseos marítimos, viviendas, edificios o infraestructuras.

El cambio de conciencia social hacia su conservación ha facilitado la aplicación de diversos instrumentos para su protección, mediante planes generales sobre el litoral, o bien amparados de forma concreta con la declaración de espacios naturales protegidos.

La mayor parte de la costa de la provincia de Huelva dispone de una inmensa riqueza de sistemas dunares, con diferentes formaciones geomorfológicas, y considerados de los mejores de Europa. Dunas blancas, bosques litorales y dunas móviles forman parte de los sistemas dunares de un enorme valor natural que se distribuyen por todo el litoral y que podemos disfrutar en nuestras costas.

PALABRAS CLAVE

Sistemas dunares litorales, vegetación psammófila, conservación, dinámica costera, gestión costera.

[1] Introducción

Entre dos de los grandes sistemas de la biosfera, marino y terrestre, se forma una frontera, denominada costa. En estos ambientes coexisten y se solapan espaciotemporalmente factores ambientales de ambos sistemas generándose una transición en el eje mar-interior continental, unas veces de forma suave y otras abruptas. Son numerosos los ecosistemas que se forman en esta divisoria, como las marismas, acantilados, manglares, sistemas playas-dunas, etc.

La naturaleza básica de una costa está determinada por la geología y topografía de la costa y de las tierras adyacentes, así como por los procesos físicos que sobre ellas operan, particularmente las acciones de ríos y olas que crean, aportan y distribuyen material sedimentario. Cuando la pendiente costera es demasiado suave para que mediante la energía del oleaje transporte este material se forman las playas (McIntyre, 1977). Sobre estas planicies se depositan las arenas, que constituyen los materiales de construcción de las dunas.

Los sistemas dunares litorales son ecosistemas de transición entre el mar y los netamente terrestres, pero tienen entidad propia como ecosistema. Presentan un carácter muy dinámico, con cambios perceptibles a veces en unos pocos días (Ley *et al.*, 2007), y contienen un valor singular desde un punto de vista ambiental. Su situación fronteriza propicia la conectividad entre los espacios litorales e interiores.

En las dunas litorales existe un gran déficit hídrico, debido a la escasa presencia de agua dulce necesaria para los seres vivos, a pesar de la ingente cantidad de agua existente en la costa. Pero ésta no es provechosa para la biota, pues las sales que contienen son tóxicas a elevadas concentraciones. A esto se une que el sustrato arenoso no retiene el agua de lluvia, percolando a su través hasta alcanzar una capa freática subterránea. La filtración del agua produce el lixiviado de materia orgánica de las capas superiores. Asimismo, la escasa capacidad de intercambio catiónico lo hace pobre en nutrientes. Todo esto explica que las playas sean sistemas oligotróficos, aunque reciben un pequeño subsidio de material orgánico procedente del mar.

Otra de las características más significativas de los sistemas dunares es la inestabilidad del sustrato al estar formado por material particulado no cohesionado. El diferente grado de movilidad de la arena se considera uno de los principales factores que modifica la distribución de las especies y la composición de las comunidades vegetales de los sistemas dunares costeros (Moreno-Casasola, 1986). La movilidad de las arenas dificulta la germinación de las semillas por enterramiento, el establecimiento de las plántulas y la fijación mediante un anclaje más seguro al suelo. El enterramiento de la vegetación se asocia con cambios en la riqueza y diversidad de las especies, con cambios en las especies dominantes y el reemplazo de especies, basado en la tolerancia al enterramiento en todo el gradiente. Dech y Maun (2005) sugieren también que el enterramiento en las dunas de arena es un importante factor causante de la zonificación, y que este fenómeno puede extenderse a lo largo de todo el sistema dunar.

Por otro lado, el desarrollo de las dunas costeras en las zonas templadas está definida por la interrelación entre el aporte de sedimentos arenosos por el mar y la vegetación. En esas zonas, donde la precipitación es suficiente para el crecimiento de la vegetación, la morfología de los sistemas dunares

tiene una relación directa con la distancia desde la duna al mar, debido a que el ambiente salino y desecante que aportan los vientos marinos y la falta de nutrientes selecciona el tipo y variedad de vegetación que puede crecer en cada una de las zonas (Ley *et al.*, 2007).

Los factores ambientales que concurren en las dunas litorales pueden resultar extremos para los seres vivos: un sustrato suelto y de gran movilidad, escasez de agua dulce, baja concentración de nutrientes necesarios para los productores primarios y la elevada presencia de sales tanto en el sustrato como en el aire. Estos factores generan unas duras condiciones para la supervivencia de la biota. La riqueza de especies es relativamente baja pues son pocas las adaptadas para soportar los rigores ambientales. Por ello, el aspecto de gran parte de la vegetación en dunas litorales es pobre, trasmitiendo la apariencia de que la vegetación es escasa o ausente. Aun así, estos espacios constituyen una franja de gran importancia.

Debido a las variaciones en la intensidad de algunos factores ambientales, la superficie del terreno es modelada de forma diferencial, y esto genera distintas formaciones geomorfológicas. Igualmente, los gradientes de estos factores determinan un patrón de la distribución y el establecimiento de la comunidad vegetal denominado zonación, con formaciones de comunidades distintas en bandas paralelas a la línea de costa, y con una serie de especies características en cada zona. Determinar con precisión la influencia exacta de cada uno de los factores ambientales (aerosol salino, microclima, humedad, nutrientes, etc.) que influyen en los sistemas dunares resulta difícil debido a la alta covarianza que existe entre ellos (Dech y Maun, 2005).

Un proceso fundamental en el desarrollo de los sistemas dunares es el balance sedimentario existente en la playa, es decir, qué grado de compensación existe entre la erosión y la sedimentación. En caso de que este balance sea favorable a la erosión, serán insuficientes las arenas para ser transportadas hacia el interior y mantener las dunas, y se dice entonces que el sistema es regresivo, mientras que si el aporte neto de arenas es mayor se denomina sistema progradante (Ley *et al.*, 2007). No es raro que ocurran fuertes temporales en el golfo de Cádiz, los cuales modelan la costa sustancialmente, provocando grandes episodios erosivos que arrastran grandes volúmenes de arenas de la costa (Morales *et al.*, 2006).

Los sistemas dunares litorales tienen una elevada importancia por la provisión de ciertos servicios ecosistémicos puesto que las zonas más anteriores del sistema actúan como defensa natural frente al oleaje y la erosión marina, tienen un papel acelerador en el reciclado de nutrientes, proporcionan el hábitat a especies adaptadas a condiciones extremas y a una amplia variedad de vida silvestre, presentan apreciados valores paisajísticos debido a unas formas de relieve y hábitats y ecosistemas singulares, tienen una importante relevancia turístico-recreativa y actúan de tampón frente a la intrusión salina de acuíferos de agua dulce (Balaguer Huguet y Roig-Munar, 2016).

Se consideran ecosistemas frágiles, pues se desestabilizan rápidamente cuando sufren una perturbación, y provoca la alteración de sus funciones o de su estructura, tanto biótica como abiótica. Por ejemplo, con el pisoteo del paso de personas o vehículos se rompe la estructura dunar arenosa, desmoronándose y perdiendo su compactación natural. O mediante la eliminación de la vegetación, que altera la dinámica eólica de la duna. Su resiliencia varía en función del tipo e intensidad del impacto. Cuando es bajo, se recuperan rápidamente debido al gran dinamismo al que está sometido.

[2]
Estructura y distribución de los arenales costeros

Las dunas litorales constituyen uno de los ecosistemas costeros más variados, conformados por una amplia tipología de formas muy dinámicas que dan lugar a distintos tipos de hábitats. La clasificación de los hábitats dunares costeros en España resulta difícil y existen diferentes propuestas según los criterios que se utilicen (Gracia, 2009).

La Directiva 92/43 de la Unión Europea (Directiva Hábitats) establece 17 hábitats de interés comunitario (HIC) de dunas marítimas, estando considerados seis como hábitats prioritarios. De los 17 HIC europeos, 10 están presentes en las costas onubenses, y de ellos, cinco son prioritarios.

En un transecto trazado desde el borde del agua hacia el interior continental existen varias formaciones geomorfológicas y comunidades biológicas, de forma continua, entre las que no se generan fronteras abruptas claramente definidas, sino que por el contrario pueden incluso superponerse. Así, de modo idealizado y esquemático, y sintetizando distintos puntos de vista de diferentes disciplinas, dicho transecto puede ser descrito de la siguiente forma.

[2.1]
Zona de playa

El continuo aporte de material erosionado del continente transportado por las corrientes marinas y el oleaje, junto con una pendiente de la plataforma litoral muy suave y el gran dinamismo eólico, facilita el depósito de las arenas en la costa, en lo que se denomina playa.

Las comunidades de las playas son relativamente simples y están dominadas por las fuerzas fluctuantes del entorno físico, principalmente por la energía del oleaje y el efecto periódico de las mareas. El sustrato de las playas impone grandes restricciones para su colonización por la vegetación, debido a su gran inestabilidad y movilidad, así como a la pobreza de nutrientes. La presencia de vegetación tiende a ser, por todo ello, a menudo muy escasa, con una distribución irregular y en gran medida fortuita [FIGURA 12-1]. Las presiones de la selección natural asociadas han favorecido a las semillas relativamente grandes que producen plántulas bien dotadas, y con una dormancia que permite su dispersión en el tiempo y en el espacio, siendo una respuesta típica a esta particular extrema impredecibilidad ambiental. Además, para que una colonizadora llegue a tener éxito es crucial disponer de un ciclo de vida apropiado. En las playas, los ciclos más exitosos son los de las plantas anuales de verano y las perennes clonales que proporcionan extrema flexibilidad de crecimiento y reproducción, en respuesta a la imprevisibilidad del ambiente abiótico en el tiempo y el espacio. Se ha observado una gran plasticidad en estas colonizadoras pues algunas especies pueden producir desde unas pocas semillas a casi 2000 al final de sus 5 meses de vida dependiendo de la disponibilidad de nutrientes y la proximidad de las plantas vecinas, así como enormes respuestas de crecimiento de *Salsola kali* y *Cakile maritima* a las variaciones en su suministro de nitrógeno. En las perennes clonales, la tasa y el patrón de desarrollo de los sistemas de rizomas o estolones, con sus yemas latentes, responden de manera similar a las condiciones locales. Ambos tipos de ciclos producen propágulos relativamente grandes (semillas o fragmentos clonales con brotes) que están dotados de reservas de nutrientes suficientes para permitir

su emergencia desde 10-20 cm de profundidad, y luego establecerse con un suministro mínimo de nutrientes externos (Davy y Figueroa, 1993). Las semillas y fragmentos de rizomas de *Elymus farctus* también permiten la colonización de las primeras arenas de la playa (Harris y Davy, 1986).

FIGURA 12-1

Aspecto de la primera fase de un sistema dunar, con un sustrato irregular, afectada por las mareas altas y con una exigua comunidad vegetal.



[2.2] Dunas pioneras o embrionarias

A continuación, entra en juego de forma decisiva el motor principal de la dinámica en un sistema dunar, el viento. Este, con una dirección predominante de componente oeste en la provincia de Huelva,

desde el mar hacia el continente (Morales *et al.*, 2006) determina que el crecimiento de los arenales onubenses sea siempre hacia levante, y empuja a las arenas hacia el interior, a medida que éstas pierden velocidad debido al rozamiento con otras partículas o bien son frenadas por la interposición de un obstáculo, como restos marinos acumulados, conchas, algas, ramas, etc., depositados por las olas y las mareas. Así comienza el proceso de acumulación de arenas a lo largo de una franja no muy ancha y discontinua, que alcanza unos pocos centímetros de altura. Los restos orgánicos depositados enriquecen con sus nutrientes a un ecosistema predominantemente oligotrófico. En la playa, el medio no es apto para organismos sésiles, lo que le concede un aspecto yermo. Se configuran, de este modo, las dunas embrionarias en la zona supramareal, que son el origen de sistemas muy activos y más complejos.

Al adentrarse hacia el interior, en la zona supralitoral, comienzan a aparecer los primeros productores primarios terrestres, con el papel de colonizadores de arenas. Esta comunidad, debido a las restricciones ambientales, está formada por unas pocas especies, con escasa cobertura y pequeño tamaño. Estas plantas retienen las arenas con sus tallos y hojas y las estabilizan con sus raíces. Normalmente son especies herbáceas, efímeras de marea alta, que posteriormente darán paso a las primeras perennes.

FIGURA 12-2

Cakile maritima subsp. *maritima* (oruga de mar), una de las colonizadoras de las dunas embrionarias.



Son plantas de carácter halonitrófilo, al aumentar las concentraciones de nitrógeno procedentes de los desechos orgánicos marinos o de origen antrópico. La disponibilidad de nitrógeno, principalmente procedente de la mineralización de detritus mareales, es determinante para el establecimiento y el éxito de algunas especies en esta zona (Davy y Figueroa, 1993). Algunas de las especies presentes en estas dunas son la gramínea *Elymus farctus* [= *Agropyron junceiforme*] vulgarmente conocida como junquillo de playa o grama de la arena, y que caracteriza a esta comunidad (*Agropyretum mediterraneum*), *Cakile maritima* subsp. *maritima* (oruga de mar) y *Salsola kali* (barrilla pinchosa) [FIGURA 12-2].

[2.3]
Dunas móviles secundarias o dunas blancas

Tras las dunas embrionarias, a veces sin apenas solución de continuidad con ellas, y en ocasiones superpuesta, aparece una segunda línea de relieve en el sistema dunar, constituida habitualmente por uno o dos cordones dunares móviles.

FIGURA 12-3

Cordón de dunas blancas



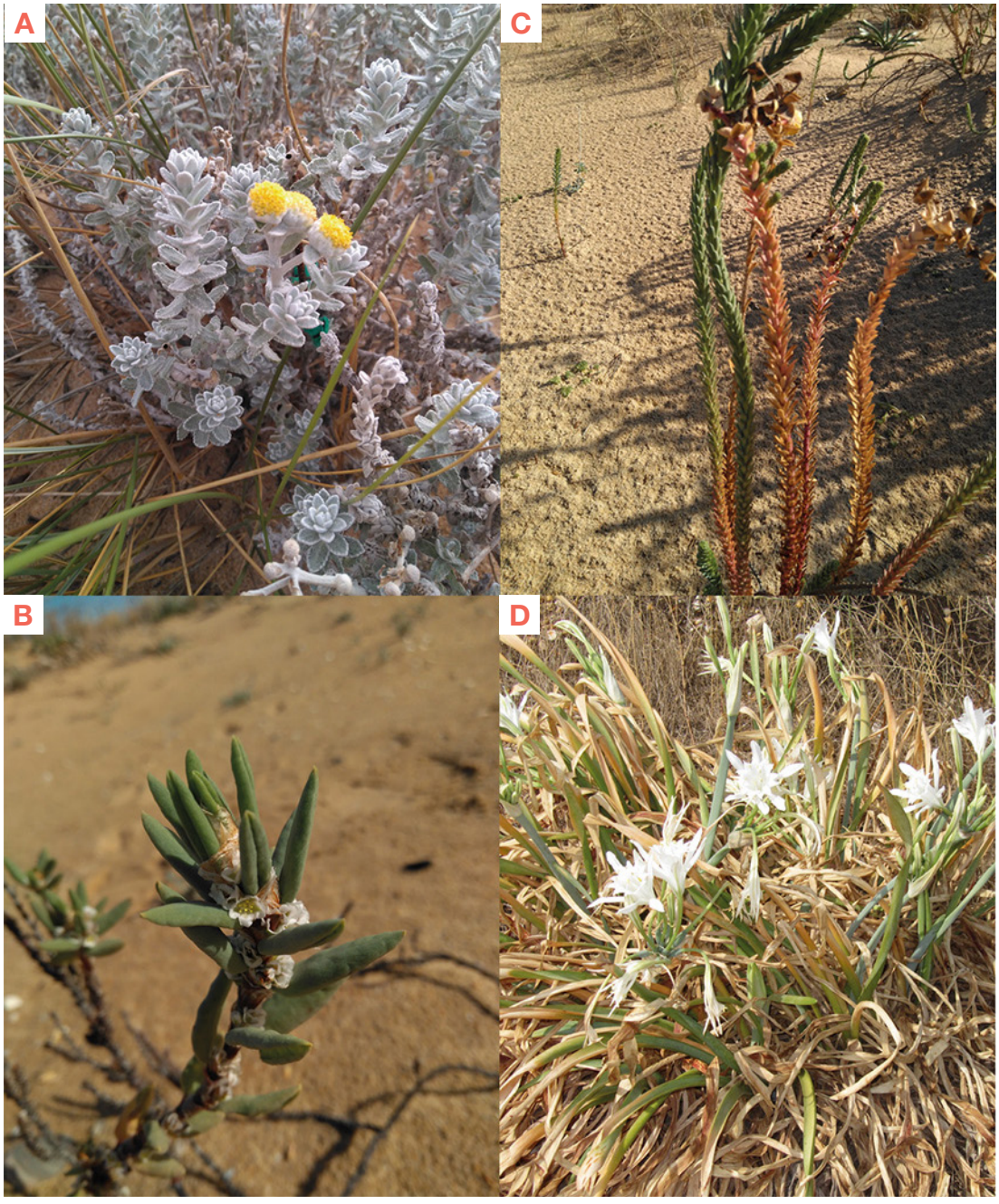
FIGURA 12-4

Ammophila arenaria subsp. *arundinacea* (barrón), especie característica de las dunas blancas o secundarias.



FIGURA 12-5

Algunas especies colonizadoras de las dunas blancas: A: *Otanthus maritimus*, **B:** *Euphorbia paralias*, **C:** *Polygonum maritimum* y **D:** *Pancratium maritimum*.



A cierta distancia de la costa, el balance entre la velocidad del viento y la fuerza de la gravedad o el rozamiento de los granos de arena entre sí, es el adecuado para que se produzcan acumulaciones de mayor entidad, imposibles en la banda de dunas embrionarias donde la energía del viento y la influencia marina son mayores (Gracia, 2009).

La vegetación terrestre, cada vez más grande y abundante, junto con otros obstáculos frena el movimiento de las arenas, facilitando su depósito. La altura de estas dunas, respecto a las anteriores es significativamente mayor, y va desde alrededor de 0.5 m a unos pocos metros. La concentración de materia orgánica en el sustrato sigue siendo escasa, pues gran parte de la caída de la vegetación es lavada con las lluvias, perdiéndose entre las profundidades de las arenas [FIGURA 12-3].

La especie característica es la estolonífera *Ammophila arenaria* subsp. *arundinacea*, vulgarmente llamada barrón [FIGURA 12-4]. De hecho es tan distintiva que da nombre al Hábitat de Interés Comunitario de la Directiva Hábitats[1] en el que vive (código 2120 "Dunas móviles de litoral con *Ammophila arenaria* (dunas blancas)"). Se trata de una gramínea que puede alcanzar un metro de altura, y que mediante sus rizomas y estolones le permite un buen anclaje al sustrato arenoso, un crecimiento vegetativo que lo independiza en parte de los riesgos del éxito reproductivo mediante semillas, así como almacenar sustancias de reservas para los momentos más desfavorables.

Al estar más alejada de la influencia mareal y de sus restricciones, aunque debe soportar el azote de los vientos y la salinidad de las microscópicas gotitas de agua marina que estos transportan en spray (spray salino), aparece una mayor cohorte de especies pioneras de carácter psammófilo. Junto a *Ammophila arenaria*, coexiste un par de decenas de especies, como la algodonosa (*Otanthus maritimus*), la lechetrezna de las playas (*Euphorbia paralias*), el cardo marino (*Eryngium maritimum*), el cuernecillo de mar (*Lotus creticus*), la corregüela del mar (*Polygonum maritimum*), la azucena o lirio marítimo (*Pancratium maritimum*) y el carretón de playa, mielga marina o hierba de la plata (*Medicago marina*), entre las más representativas. Esta comunidad vegetal facilita que las arenas queden atrapadas, aumentando su depósito [FIGURA 12-5].

[2.4] Dunas estabilizadas, dunas grises

Desde la contraduna, situada a sotavento del anterior sistema, y al alejarnos de la playa, comienza otra zona donde las arenas dejan de volar y se estabilizan, tras ser frenadas por la vegetación que alcanza mayor porte y cobertura, y por la protección de los primeros cordones dunares. Además, la intensidad de los factores ambientales, tan restrictivos en el borde marino se suavizan aquí moderadamente.

Esto facilita la aparición de otra comunidad, dominada por otras herbáceas y leñosas de mayor tamaño. Es el hábitat de especies como el cuernecillo de mar (*Lotus creticus*), alhelí de mar (*Malcolmia littorea*), clavellina (*Armeria pungens*), siempreviva (*Helichrysum picardii*), rubia espigada marina (*Crucianella maritima*), *Artemisia crithmifolia*, y ejemplares de retama blanca (*Retama monosperma*),

1 Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

romero (*Rosmarinus officinalis*), y aún con porte arbustivo, los primeros pinos piñoneros (*Pinus pinea*), enebros marítimos (*Juniperus oxycedrus* subsp *macrocarpa*) y sabinas marítimas (*Juniperus phoenicea* subsp *turbinata*), junto a otras especies, en las zonas más alejadas del mar que se continúan con el posterior bosque litoral.

Como ejemplo de las interacciones ecológicas que existen en estos ecosistemas, Dellafiore *et al.* (2006) estudiaron en el sistema dunar de la Flecha del Rompido, la relación entre *Retama monosperma* y los conejos. Observaron que si bien el contenido de semillas de retama en los excrementos de conejo no era muy alto, la germinación de aquéllas resultó significativamente mayor que la de las semillas recogidas directamente del fruto. Esto indica que el paso de las semillas por el tracto digestivo de los conejos aumenta su porcentaje de germinación, y por tanto, facilita el éxito de la dispersión de la retama por aquella zona.

A veces pueden aparecer zonas deprimidas entre dos dunas, donde al abrigo de los vientos, la estabilidad del sustrato es mayor. Además, aquí se acumula materia orgánica arrastrada desde las dunas contiguas, que hace a estos suelos más ricos en nutrientes. En estas depresiones, el nivel freático está más próximo a la superficie, y en algunos casos se llega a almacenar agua en la superficie temporalmente. Esto ocurre en el sistema de dunas móviles en Doñana, donde a estas estructuras se le denominan corrales. Aquí aparece una comunidad hidrofítica, contrapuesta a la xerofítica mayoritaria en los sistemas dunares, con presencia de *Juncus* spp., *Scirpoides holoschoenus*, *Agrostis stolonifera*, camarina (*Corema album*), etc., así como pino piñonero.

[2.5] Los bosques costeros litorales

Al final del transecto idealizado que se está describiendo, se encuentran los bosques litorales sobre arenas estabilizadas.

Tras los suelos arenosos oligotróficos de las primeras dunas, donde la disponibilidad de agua y de nutrientes resultan los principales limitantes abióticos, ocurre, gracias a la estabilidad que les confiere la vegetación herbácea y la leñosa de bajo porte, su sustitución por un ecosistema terrestre autotrófico cada vez mejor estructurado, donde se establece vegetación arbustiva y arbórea, dando paso a los bosquetes litorales. Estos bosques constituyen la etapa climácica de los sistemas dunares mediterráneos.

La estructura de los bosques costeros del litoral onubense está configurada principalmente por la presencia tres especies de porte arbóreo, pinos piñoneros (*Pinus pinea*), sabinas negras costeras (*Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata*) y enebros marítimos (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*) en mayor o menor proporción, y que a veces constituyen formaciones mixtas [FIGURA 12-6].

Las tres son nativas de la región mediterránea, aunque en el caso del pino piñonero, su área de distribución es difícil de precisar, al haber sido ampliamente cultivado con el fin de ayudar a la estabilización de dunas y por la importancia de su madera y sus semillas. Es quizás por esto, la especie más abundante de las tres, y es muy característica en gran parte del litoral onubense. Su tronco, que puede llegar a alcanzar los 20 metros, sólo se ramifica en la parte superior, formando conspicuas copas aparasoladas.

FIGURA 12-6

Ejemplares de enebros, pinos y sabinas, que conforman el estrato arbóreo del bosque litoral.



En los bosques mixtos de enebros y sabinas, los primeros dominan sobre las sabinas en las zonas más próximas al mar, tendencia que se invierte hacia el continente.

El enebro marítimo es una especie nativa de la región mediterránea y del suroeste de Asia, aunque en Andalucía solo está presente en unos pocos reductos costeros del golfo de Cádiz. Se contabilizaron unos 9000 individuos, de los que el 60% se localiza en el Parque Nacional de Doñana, por lo que actualmente, este taxón está considerado "en peligro de extinción" por la Junta de Andalucía e igualmente incluido en la Lista Roja de la Flora Vascular Española bajo la categoría de "en peligro crítico", máximo grado de amenaza (Figueroa *et al.*, 2003). Su madera es resistente y muy estable, lo que contribuyó a que tradicionalmente fuera muy utilizada. Esto, unido a la elevada presión urbanística sobre el litoral de las últimas décadas ha favorecido la merma de sus poblaciones. Presenta portes variables, desde arbustivo a arbóreo, llegando a alcanzar hasta 4-5 metros de altura [FIGURA 12-7].

La sabina negra costera sólo se encuentra en el Mediterráneo occidental y está presente en casi toda la costa andaluza. Puede llegar a alcanzar unos 8 metros de altura, presentando una copa cónica y muy densa desde la base del tronco. Su madera es igualmente muy apreciada por su calidad.

FIGURA 12-7

Detalle de las hojas y gálbulos de enebros.



Aunque el enebro es una especie dioica, es decir, que los sexos masculino y femenino se encuentran en individuos distintos, y las sabinas son monoicas, la biología reproductiva de ambas especies es compleja. Cuando florecen en otoño, los conos florales femeninos segregan una gota polinizante pegajosa, a la que se adhieren los pequeños granos de polen que llegan con el viento. La gota polinizante es reabsorbida, acercando el polen hacia los óvulos. Entonces los conos florales femeninos comienzan a crecer dando lugar a unas estructuras carnosas denominadas gálbulos, aunque la fecundación de los óvulos por los granos de polen reabsorbidos no se producirá hasta el verano siguiente a la floración. Durante este tiempo, los gálbulos jóvenes alcanzan un tamaño casi definitivo, y pasan de tener un color verde a ser pardos-rojizos o azulados, aunque tardarán aún un año más en madurar. Casi dos años después, a finales de verano o principios de otoño, los gálbulos maduros son tiernos y se desprenden con facilidad. Son frutos nutritivos, apreciados por aves y medianos mamíferos, que tras consumirlos, defecan las semillas, que gracias al paso por el tracto digestivo ven favorecida su germinación. A pesar de ello, la germinación es difícil y lenta, y en una alta proporción ni ocurre, ya que tanto sabinas como enebros producen muchas semillas vanas, sin embrión.

Mediante estudios ecofisiológicos, Figueroa *et al.* (2003) demostraron que las sabinas de las zonas más altas del sistema dunar sufren un mayor estrés durante la época estival debido a que con sus raíces, más superficiales, no llegan a alcanzar las aguas del freático, absorbiendo principalmente el agua del rocío de las mañanas, mientras que los enebros y pinos piñoneros, al tener raíces más profundas presentan un menor estrés hídrico. Asimismo, el exceso de sombreado producido por la abundancia de pinos puede perjudicar a las plántulas y ejemplares más jóvenes de enebros.

La vegetación arbórea está acompañada por un sotobosque con matorral mediterráneo como el mirto o arrayán (*Myrtus communis*), el cantueso (*Lavandula stoechas*), el romero (*Rosmarinus officinalis*), el jaguarzo blanco (*Halimium halimifolium*), el jaguarzo negro (*Halimium commutatum*), la camarina (*Corema album*), el torvisco (*Daphne gnidium*), el lentisco (*Pistacia lentiscus*), el espino negro (*Rhamnus oleoides*), el escobón (*Cytisus grandiflorus*), la retama blanca (*Retama monosperma*) y diversas especies de jaras (*Cistus ladanifer*, *C. monspeliensis*, *C. salvifolius, C. libanotis*). La estructura de la comunidad vegetal la completan numerosas herbáceas, resaltando algunas trepadoras como la rubia (*Rubia peregrina*) o la esparraguera (*Asparagus acutifolius*).

En los lugares constantemente batidos por el viento, las plantas presentan formas de crecimiento unidireccional o postrado, como respuesta al efecto mecánico del viento y a los daños causados por la arena y la sal transportada por éste. Los árboles y arbustos son los vegetales que más difícilmente colonizan las dunas y presentan, cuando lo hacen, las yemas del lado batido por el viento secas, creciendo hacia el lado protegido, lo que les da un aspecto achaparrado (Alcaraz Ariza y Garre Belmonte, 1985), o también denominados árbol bandera.

Como ya ha quedado reflejado con anterioridad, es en el Paraje Natural Enebrales de Punta Umbría y en el Paraje Natural Marismas del Río Piedras y Flecha del Rompido donde se encuentran los bosques litorales más importantes del litoral occidental de Huelva, si bien no son los únicos. Al este de las extensas playas que acotan la desembocadura común de los ríos Odiel y Tinto, algunos bosques litorales se conservan sobre arenales sobreelevados por recientes procesos geológicos. Desde Matalascañas hasta la desembocadura del Guadalquivir se conservan los mejores bosques litorales de la provincia, protegidos dentro del Parque Nacional.

En este tipo de unidad es donde se localiza el hábitat prioritario citado en la Directiva Hábitats, denominado “Dunas litorales con *Juniperus* spp” (código 2250), muy extendido por toda la costa onubense.

[2.6] Fauna

La zona intermareal de la playa está colonizada por fauna invertebrada, oculta frecuentemente bajo la arena y que se nutre de la materia orgánica transportada por el agua o bien depositada en las playas por las mareas. Por su interés comercial destacan ciertas especies muy apreciadas de moluscos bivalvos, como las coquinas (*Donax trunculus*) y la almeja fina (*Venerupis decussata*). Los invertebrados son alimento a su vez de numerosas especies de aves, entre las que destacan las limícolas como el correlimos tridáctilo (*Calidris alba*) o el chorlitejo patinegro (*Charadrius alexandrinus*) en sus interminables paseos por la arena húmeda de la playa baja.

Desde esta zona y también en la playa alta es fácil observar a numerosas aves marinas sobrevolando la costa, entre las que destacan los charancitos y charranes (*Sterna* spp.), fumareles (*Chlidonias* spp.), pagazas (*Gelochelidon nilotica*, *Sterna caspia*) y gaviotas (*Larus* spp.). Estas zonas también sirven como área de descanso para estas aves tras su recorrido por el mar en busca de sus presas. Además, algunas de estas especies aprovechan esta área y los primeros cordones dunares durante el periodo de cría para nidificar.

En la zona supramareal y en las dunas móviles, las altas temperaturas que puede llegar a alcanzar la superficie de la arena durante el día y la escasa cobertura vegetal hacen muy limitada la presencia de fauna. Predominan invertebrados terrestres, destacando coleópteros de las familias de los tenebriónidos, los cicindélidos o los escarabeidos, que rastrean las arenas en busca de restos orgánicos. *Akis saltesiana* (Fam. Tenebrionidae) (López-Pérez, 2009), y *Calomera lunulata* (Fam. Cicindelidae) (López-Pérez y García Casas, 2007) son especies endémicas de los arenales del litoral onubense, localizadas en el Paraje Natural Marismas del Odiel.

Destaca también aquí una rica herpetofauna, con especies características como la lagartija colirroja (*Acanthodactylus erythrurus*), la lagartija colilarga (*Psammodromus algirus*), la lagartija cenicienta (*Psammodromus hispanicus*), la culebra bastarda (*Malpolon monspesulanus*), y la culebra de herradura (*Coluber hippocrepis*), que se alimentan de los invertebrados terrestres, y de los huevos y crías de las aves que anidan en la playa, en las dunas y en los bosquetes litorales próximos, junto al lagarto ocelado (*Lacerta lepida*) y el emblemático camaleón (*Chamaleo chamaleon*).

En las zonas más arboladas, sobresale la presencia de numerosas especies de aves, sobre todo paseriformes que aprovechan la mayor complejidad de la estructura forestal, como el carbonero común (*Parus major*), la curruca capirotada (*Sylvia atricapilla*), el jilguero (*Carduelis carduelis*), la curruca rabilarga (*Sylvia undata*), el herrerillo común (*Parus caruleus*), el verderón común (*Carduelis chloris*), el pinzón (*Fringilla coelebs*), el rabilargo (*Cyanopica cyanus*), la abubilla (*Upupa epops*) y el picapinos (*Dendrocopos major*). Y rapaces como el busardo ratonero (*Buteo buteo*), el azor (*Accipiter gentilis*) y el milano negro (*Milvus migrans*).

Entre los mamíferos, conejos (*Oryctolagus cuniculus*), liebres (*Lepus granatensis*), zorros (*Vulpes vulpes*), tejones (*Meles meles*), ginetas (*Genetta genetta*), erizos (*Erinaceus europaeus*) y meloncillos (*Herpestes ichneumon*) son algunas de las especies más frecuentes. Los bosques litorales de El Asperillo, en la costa oriental de Huelva, se encuentran dentro del área de campeo de la población de lince ibérico (*Lynx pardinus*) del Parque Nacional de Doñana.

[3]
Humedales relacionados con sistemas dunares

Asociado a sistemas dunares bien desarrollados existe un conjunto de lagunas y humedales litorales muy diverso, con diferente génesis, estacionalidad, etc. Unas veces se han originado por cerramiento natural del cauce de pequeños arroyos al interponerse una barra arenosa que impide su salida al mar, como en el caso de la Laguna del Portil [FIGURA 12-8], y otras, al rellenarse depresiones

naturales en el terreno arenoso, como las incluidas en el complejo perilagunar del Parque Nacional y Parque Natural de Doñana.

Estas lagunas representan singularidades hídricas en un entorno en el que la disponibilidad de agua es limitada, especialmente durante el extenso periodo estival del clima mediterráneo, y donde se producen acentuadas oscilaciones estacionales e interanuales. Sus características ecológicas particulares, estructurales y funcionales vienen determinadas por las variables hidrológicas que marcan su hidroperiodo y las condiciones de la cubeta. Son ecosistemas tremendamente sensibles a variaciones hidrológicas, y muy dependientes de las precipitaciones anuales y de las posibles recargas desde los acuíferos, lo que determina que unas tengan un carácter más estacional y otras más permanente, aunque en algunos casos, incluso éstas llegan a secarse, por ejemplo la Laguna del Portil en el 2009.

Las lagunas temporales son hábitats muy vulnerables, tanto debido a factores intrínsecos, como por ejemplo por su reducido tamaño y escasa profundidad (Grillas *et al.*, 2004) como a factores ex-

FIGURA 12-8

Sobre una fotografía de 1956, se observa más claramente la barra arenosa que cerró la salida al mar en la laguna del Portil.

FUENTE: REDIAM. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía.



trínsecos, relacionados en su mayoría por su afectación humana (extracción de aguas subterráneas, soterramientos, ocupación física de las lagunas, etc.).

Todo esto determina que estas acumulaciones sean consideradas como ecosistemas de enorme valor para numerosas especies para todos los grupos taxonómicos, y las convierte en auténticos oasis de biodiversidad con respecto a su entorno. Como ejemplo de esto, Fernández Zamudio *et al.* (2007) registraron en un estudio florístico de la cuenca de la Laguna de las Madres la presencia de 377 taxones. Además, la riqueza biológica en organismos acuáticos, principalmente invertebrados planctónicos y macrófitos (Díaz-Paniagua *et al.*, 2016), y la elevada producción que alcanzan, suponen la base de los recursos tróficos para otras muchas especies.

A su importancia hídrica y trófica debe unirse la relevancia de su distribución espacial. Localizadas por todo el litoral, las lagunas peridunares actúan como una auténtica vía de comunicación entre distintos ecosistemas próximos, favoreciendo la conectividad entre ellas y permitiendo el desplazamiento de una rica y diversa avifauna acuática, tanto residente como migradora, además de aumentar el hábitat de otros organismos acuáticos.

Estas aguas continentales se encuentran distribuidas a lo largo de todo el litoral onubense asociadas a los ecosistemas arenosos. Especialmente importantes son las lagunas de El Portil, la Primera de Palos, La Jara, La Mujer y la Laguna de las Madres, continuando con un sinfín de pequeñas depresiones en El Abalario, dentro del Parque Natural de Doñana, que son preámbulo a las lagunas existentes en el Parque Nacional. Especialmente importante es este complejo lagunar extendido entre los sistemas dunares del Espacio Natural de Doñana, de gran magnitud y variedad fenotípica, y con la característica compartida de ser lagunas y zonas encharcables con una hidrología ligada a la superficie piezométrica del acuífero Almonte Marismas (Díaz-Paniagua *et al.*, 2016).

La Laguna del Portil está protegida como Reserva Natural, y las lagunas Primera de Palos, La Jara, La Mujer y la Laguna de las Madres constituyen el Paraje Natural de las Lagunas de Palos y Las Madres.

Por la proximidad del sistema dunar, que da origen a este tipo de lagunas, la vegetación y la fauna de los arenales costeros es parte de un entorno que se beneficia de estos hitos de agua en un ambiente xérico. Pinos, sabinas y algunos enebros de los bosques litorales están próximos a las lagunas, aunque dejando que domine su sotobosque de retamas blancas, romeros, lentiscos, jaras jaguarzos y mirtos, que se acercan más al agua. Finalmente, en la orla de las lagunas aparece una vegetación higrofítica, con tarajes (*Tamarix canariensis*), eneas (*Typha dominguensis*), carrizos (*Phragmites australis*), juncos (*Juncus acutus*, *Scirpoides holoschoenus*), zarzas (*Rubus ulmifolius*) y sauces (*Salix atrocinerea*). Según el grado de conservación y la calidad de sus aguas, en la comunidad de macrófitos acuáticos predominarán distintas especies de los géneros *Ranunculus*, *Nymphaea*, *Polygonum*, *Potamogeton*, y *Chara*, entre otros.

La culebra de agua (*Natrix maura*) y el galápago leproso (*Mauremys leprosa*) completan la rica herpetofauna circundante de los arenales, aunque el mayor protagonismo reside en la abundante avifauna acuática. Es posible observar calamones (*Porphyrio porphyrio*), pollas de agua (*Gallinula chloropus*), fochas comunes (*Fulica atra*), zampullines comunes (*Tachybaptus ruficollis*), somormujos (*Podiceps cristatus*), ánades reales (*Anas platyrhynchos*), patos cuchara (*Anas clypeata*), porrones comunes (*Aythya ferina*), malvasías cabeciblancas (*Oxyura leucocephala*), garzas reales (*Ardea cinerea*) e imperiales (*Ardea purpurea)*, garcillas cangrejeras (*Ardeola ralloides*), martinetes (*Nycticorax*

nycticorax), avetorillos (*Ixobrichis minutus*) y martines pescadores (*Alcedo atthis*), a los que se unen algunas aves litorales marinas, como gaviotas (*Larus* spp.) y fumareles (*Chlidonias* spp.), que utilizan el agua dulce de las lagunas.

Entre los mamíferos cabe destacar la presencia de nutrias (*Lutra lutra*) que encuentran aquí invertebrados y peces con los que alimentarse.

[4]
Especies vegetales costeras emblemáticas

Son varias las especies de sistemas dunares de las costas onubenses, que principalmente debido a su estado de conservación y singularidad y área de distribución tienen un gran interés, como la gramínea *Gaudinia hispanica*, endémica de Andalucía y más común en las arenas estabilizadas interiores, el tomillo de mar o tomillo carnoso (*Thymus carnosus*), el enebro marítimo, etc.

El tomillo de mar o tomillo carnoso es un pequeño arbusto de hasta 30 cm de altura, de densos tallos erectos con hojas persistentes, con una distribución dispersa y densidades relativamente bajas, perteneciente a la familia *Labietae*. Su hábitat está situado principalmente desde la playa supralitoral, a sotavento de las dunas embrionarias, hasta las arenas más interiores. Se trata de una especie endémica del suroeste de la Península Ibérica, con un rango de distribución muy restringido a dos grandes núcleos, uno situado al sur de Lisboa (Portugal) y el otro localizado entre el Algarve portugués y la costa onubense. En España está confinada a las costas de Huelva, concretamente entre las desembocaduras de los ríos Guadiana y Odiel, distribuidas en cinco localidades, con un área de ocupación de 15 km^2 (Balao *et al.*, 2013), y contenidas principalmente en el Paraje Natural Marismas del Río Piedras y Flecha de El Rompido y en el Paraje Natural Enebrales de Punta Umbría, que constituye el límite oriental de su distribución.

Esta especie está incluida en el "Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España" (Talavera *et al.*, 2010), y protegida por estar considerada en peligro de extinción bajo la Ley 8/2003 de la flora y la fauna silvestres de Andalucía. Asimismo se encuentra incorporada en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial[2].

Con respecto a su estado de conservación, Gallego-Fernández *et al.* (2006) observaron que algunas poblaciones de la costa onubense se encontraban envejecidas, con escaso reclutamiento, baja tasa de floración y con deficiente estado vegetativo, presentando un gran porcentaje de la planta muerta. Asimismo indicaron que los principales agentes de perturbación de esta especie en la Flecha del Rompido eran el pastoreo por herbívoros, la presión de pisoteo de visitantes y bañistas al atravesar el matorral de dunas en dirección a la playa, y un camino para vehículos paralelo al cordón dunar activo en el sector oeste construido en 2002, que facilita el incremento de la presencia de visitantes en la zona. Es, por tanto, una especie singular de nuestro litoral, que está en evidente peligro de extinción

2 Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas, y en el Decreto 23/2012, de 14 de febrero, por el que se regula la conservación y el uso sostenible de la flora y la fauna silvestres y sus hábitats, Junta de Andalucía.

debido a la alteración de su hábitat y sobre todo por la destrucción de los sistemas dunares costeros para la construcción de urbanizaciones turísticas.

Otra especie emblemática del litoral onubense es *Linaria lamarckii* Rouy (Scrophulariaceae), endémica del suroeste de Portugal y del extremo más occidental de Andalucía. Su área de distribución en España se circunscribía sólo a una localidad del litoral onubense, situada en Isla Canela (Ayamonte), cuya población estaba formada por menos de 50 individuos, generalmente senescentes y muy aislados unos de otros, en una superficie cercana a las 3 ha. Por este motivo, aplicando los criterios de la UICN, se le clasificó en la categoría "En peligro crítico". Su principal amenaza se debe a que su hábitat se encuentra en serio peligro debido a la construcción de un hotel muy cercano y existencia de un sendero hacia la playa que atraviesa la población (Ortiz Herrera *et al.*, 2004). Afortunadamente, la posterior actuación de la administración ambiental de Andalucía, a través del Laboratorio de Propagación Vegetal de la Consejería de Medio Ambiente ha posibilitado que el número de individuos se recupere y aumentado sus poblaciones, evitando así su extinción. Partieron de 30 semillas que encontraron almacenadas en la Universidad de Sevilla y en dos años consiguieron tener más de 10.000 semillas conservadas, 500 plantas reintroducidas en el campo, en colecciones de conservación del Jardín Botánico Dunas del Odiel perteneciente a la Red Andaluza de Jardines Botánicos y un stock de ellas en producción (Plaza Arregui y Rodríguez Hiraldo, 2009).

[5]
Sistemas dunares en distintos espacios naturales protegidos

[5.1]
Paraje Natural Marismas del Río Piedras y Flecha del Rompido

Este espacio natural, localizado en la desembocadura del río Piedras, entre los límites de Cartaya y Lepe, se extiende por unas 2410 ha. En él coexisten dos formaciones geomorfológicas de gran interés, muy bien desarrolladas, y características de ambientes sedimentarios: la marisma mareal, en el estuario del río Piedras, y una flecha o cordón litoral de las más extensas de nuestro entorno, llamada Flecha del Rompido o de Nueva Umbría [FIGURA 12-9].

La longitud de la flecha supera los 12 km, mientras que su anchura es variable, oscilando entre unos 250 m hasta los 650 m. Se estima un crecimiento medio durante el último siglo de unos 30 m anuales. A sotavento se distinguen los distintos ganchos arenosos secuenciales que permiten vislumbrar su crecimiento en las distintas fases de desarrollo, y entre los cuales se depositan materiales sedimentarios finos que favorecen la creación de pequeñas áreas de marismas. Las dunas generadas no suelen superar unos pocos metros de altura. En la bocana del estuario tienden a sedimentar nuevos materiales, continuando la formación de la flecha, formándose extensos bajos arenosos. Ocasionalmente, a lo largo de la historia, la flecha se ha roto por su base, debido al elevado caudal del río en épocas de intensas avenidas.

En la barra arenosa, la vegetación es sabulícola, y se puede diferenciar un sistema dunar activo localizado a barlovento formado por suelos arenosos no consolidados, de otro estabilizado a sotavento.

FIGURA 12-9

Panorámica de la Flecha del Rompido al fondo.



En las arenas activas, se observan como especies más características el barrón (*Ammophila arenaria*), junquillo (*Elymus farctus*), cardo marítimo (*Erygium maritimum*), oruga de mar (*Cakile maritima*), cuernecillo de mar (*Lotus creticus*) y azucena marítima (*Pancratium maritimum*). El sistema dunar estabilizado alberga bosquetes formados por grandes ejemplares de retama blanca (*Retama monosperma*), *Artemisia crithmifolia*, *Armeria pungens* y *Helichrysum picardii*. Además, destaca la presencia del tomillo carnoso (*Thymus carnosus*).

La riqueza faunística no es muy elevada. Destacan la presencia de conejos y unas pocas especies de reptiles característicos de estos ecosistemas arenosos, y algunas aves que visitan sus playas a la búsqueda de recursos tróficos, o bien como lugar de reproducción, refugio, descanso, o bien de paso hacia las marismas adyacentes dentro del mismo espacio natural, como láridos, ardeidas, limícolas, anátidas, flamencos, cormoranes, espátulas y algunas rapaces.

En la flecha se encuentran unos interesantes vestigios del patrimonio cultural relacionados con la pesca artesanal, pues en ella se instaló una almadraba destinada a la pesca del atún rojo, aprovechando su paso migratorio hacia el estrecho de Gibraltar. Debido a diversas circunstancias, la almadraba cerró, aunque permanecen los restos del poblado de pescadores almadraberos.



[5.2]
Reserva Natural Laguna del Portil

Se trata de una laguna peridunar, de agua dulce y de carácter permanente del litoral occidental de Huelva, y se localiza en el término municipal de Punta Umbría. La laguna tiene una superficie de 15.5 ha, si bien se ha establecido una zona de protección a su alrededor de 1.300 ha. El cerramiento de dos arroyos locales por el sistema dunar próximo, que se interpone hacia el mar, y aportes subterráneos, permiten que las aguas queden acumuladas en esta laguna.

Desde el punto de vista ecológico juega un importante papel, ya que se trata de una de las escasas lagunas de agua dulce del entorno, aumentando la diversidad de ecosistemas acuáticos del litoral, con los que se complementa. Además dentro de los límites de la reserva natural coexisten tres ecosistemas muy contrastados, el pinar, las arenas y la laguna, lo que favorece el aumento de biodiversidad [FIGURA 12-10].

El entorno de la laguna está rodeado por pinares de pino piñonero (*Pinus pinea*), acompañado por un matorral aclarado, donde destacan especies arbustivas como el jaguarzo blanco (*Halimium halimifolium*), palmito (*Chamaerops humilis*), lentisco (*Pistacia lentiscus*), jara pringosa (*Cistus ladanifer*) y labiérnago u olivilla (*Phillyrea angustifolia*). En la zona sur, donde habita vegetación sabulícola, aparecen

FIGURA 12-10

Orla de vegetación en el borde de la Laguna del Portil, con grupo de aves en la superficie.



sabinas (*Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata*), retama blanca (*Retama monosperma*), siempreviva (*Helichrysum picardii*) y cuernecillo de mar (*Lotus creticus*), entre otras muchas.

La orla se realza con una vegetación palustre de eneas (*Typha dominguensis*), castañuelas (*Scirpus maritimus*) y juncos (*Scirpoides holoschoenus* y *Juncus acutus*), y entre los macrófitos acuáticos destaca la presencia de varias especies de *Chara*, *Potamogeton* y *Ranunculus*.

De su fauna, resalta la presencia de una rica y variada comunidad ornítica, con representantes de los distintos ecosistemas presentes. Se pueden observar tanto especies sedentarias como migratorias, ya que tiene un importante papel como zona de tránsito para estas últimas en sus grandes desplazamientos. Entre las acuáticas, ánades reales (*Anas platyrhynchos*), patos cuchara (*Anas clypeata*), porrones comunes (*Aythya ferina*), garzas reales (*Ardea cinerea*), espátulas (*Platalea leucorodia*), focha común (*Fulica atra*), zampullín chico (*Tachybaptus ruficollis*), calamones (*Porphyrio porphyrio*), pollas de agua (*Gallinula chloropus*), martín pescador (*Alcedo atthis*) y zarapito real. En la zona de los pinares, milano real (*Milvus milvus*), milano negro (*Milvus migrans*), busardo (*Buteo buteo*), abubilla (*Upupa epops*), picapinos (*Dendrocopos major*) y numerosas paseriformes, como carboneros, herrerillo capuchino y curruca cabecinegra.

Además hay presencia de anfibios, con diversas especies de ranas, tritones y sapos, así como reptiles y mamíferos entre los que destacan el camaleón (*Chamaleo chamaleon*), galápago leproso (*Mauremys leprosa*), culebra de agua (*Natrix maura*), erizos (*Erinaceus europaeus*) y nutrias (*Lutra lutra*).

[5.3]
Paraje Natural Enebrales de Punta Umbría

Se extiende por un ecosistema de dunas costeras localizadas en el término municipal de Punta Umbría, y cubre unas 165 ha. Se trata de uno de los escasos enclaves de la costa onubense donde un ecosistema litoral dunar se encuentra relativamente bien conservado. Además, destaca la presencia de tres especies emblemáticas con un serio grado de amenaza, como son el camaleón, el enebro marítimo y el tomillo de mar, por lo que este espacio natural se considera todo un símbolo de la conservación.

Alberga una comunidad vegetal de bastante interés, e incluye distintas estructuras geomorfológicas, que van desde la playa, dunas embrionarias y los primeros cordones de dunas móviles, hasta las dunas fijas y arenas estabilizadas. Entre ellas aparecen los denominados corrales, que son depresiones interdunares donde hay una mayor humedad edáfica y disponibilidad de nutrientes.

La etapa madura de los ecosistemas dunares, también denominado bosque de dunas litorales, aquí caracterizada por un bosque mixto de pinos piñoneros (*Pinus pinea*), enebros marítimos (*Juniperus oxycedrus* subsp *macrocarpa*) y sabinas marítimas (*Juniperus phoenicea* subsp *turbinata*) es uno de los aspectos más destacado. Son especies adaptadas a la escasa disponibilidad de agua dulce, sustrato arenoso inestable, pobre en nutrientes e intenso aerosol salino. El enebro costero es el elemento natural y más emblemático de este espacio, declarado protegido como paraje natural. Aquí se localiza una población aproximada de unos 300 pies de enebros marítimos, bien conservados, la mayor reserva de la provincia de Huelva tras la existente en el Parque Nacional de Doñana (Figueroa *et al.*, 2003). Los pinos piñoneros fueron introducidos con el fin de ayudar a estabilizar las dunas.

El séquito vegetal está formado por las leñosas *Artemisia crithmifolia, Armeria pungens, Crucianella maritima*, *Helicrhysum picardii*, retama marítima (*Retama monosperma*), jaguarzo (*Halimium halimifolium*), lentisco (*Pistacia lentiscus*), romero (*Rosmarinus officinalis*), torvisco (*Daphne gnidium*), la jara morisca (*Cistus salvifolius*) y espino negro *(Rhamnus oleoides*); y entre las herbáceas y menor porte destacan *Malcolmia littorea*, *Elymus farctus* y el barrón (*Ammophila arenaria* subsp. *arundianacea*).

Entre la fauna más conspicua, destaca la presencia de numerosas especies de aves, especialmente paseriformes, como el carbonero común (*Parus major*), la curruca capirotada (*Sylvia atricapilla*), el jilguero (*Carduelis carduelis*), la curruca rabilarga (*Sylvia undata*), el herrerillo común (*Parus caruleus*), el verderón común (*Carduelis chloris*) y el rabilargo (*Cyanopica cyanus*), entre otras. La herpetofauna es muy interesante, sobresaliendo especies como el lagarto ocelado (*Lacerta lepida*), la lagartija colirroja (*Acanthodactylus erythrurus*), la lagartija colilarga (*Psammodromus algirus*), la lagartija cenicienta (*Psammodromus hispanicus*) y el emblemático camaleón (*Chamaleo chamaleon*).

Todas estas particularidades, inexistentes en su entorno más próximo y con este grado de conservación, fueron decisivas para que esta zona se declarase espacio natural protegido. Sin embargo, este paraje natural no está exento de la intensa presión humana, como ocurre en casi todo el litoral costero andaluz. La construcción de infraestructuras y la gran expansión urbanística del municipio, en relación con el desarrollo turístico, alcanza físicamente el límite del propio paraje natural, lo que supone una gran amenaza tanto para las especies antes mencionadas como para la integridad completa del ecosistema. Pérdida de hábitats, fragmentación del territorio, aumento del efecto borde, incremento de su grado de aislamiento y pérdida de conectividad para las especies, son amenazas reales de este espacio protegido.

El paraje dispone de una serie de itinerarios, utilizados por los visitantes para pasear y hacer deporte, además de una serie de pasarelas que permiten llegar hasta la zona de baño y disfrutar de las magníficas playas localizadas al sur del paraje, atravesando manchas de enebros y sabinas.

[5.4]
Paraje Natural Lagunas de Palos y Las Madres

Este espacio natural se encuentra constituido por un complejo de lagunas peridunares paralelas a la línea de costa, ubicado en los municipios de Palos de la Frontera y Moguer. El Paraje Natural cubre unas 693 ha. Las lagunas incluidas en el Paraje Natural son: Laguna Primera de Palos (17 ha, la superficie de la cubeta), Laguna de la Jara (17 ha), Laguna de la Mujer (3 ha) y Laguna de las Madres (81 ha).

La génesis de estas lagunas tuvo lugar cuando un cordón dunar litoral obstruyó la libre salida hacia el mar de unos arroyos, favoreciendo la acumulación de las aguas. Las precipitaciones recogidas en su cuenca, cuyos cauces principales son el Avitorejo y la Madre del Avitor, junto con la contribución de aguas subterráneas son los aportes hídricos a estas lagunas. En el caso de la Laguna de las Madres se trata además de una fosa tectónica subsidente, y en ella la alimentación superficial adquiere una mayor importancia, ya que presenta una mayor cuenca vertiente. Entre las marismas del Odiel y las del Guadalquivir, existe un rosario de lagunas peridunares (Lagunas del Abalario), y las incluidas en este Paraje Natural son de las escasas supervivientes del flanco occidental.

La importancia de estas lagunas radica en que constituye un gran reservorio de agua dulce o de muy baja salobridad, en un entorno dominado por aguas muy salobres y salinas. De hecho, la laguna de las Madres es una de las lagunas de agua dulce más extensa de Andalucía. Las de La Jara, La Mujer y La Primera de Palos embalsan aguas subsalinas.

Además, este rosario de lagunas litorales constituye un elemento territorial esencial en la desfragmentación de las zonas húmedas litorales, al favorecer la conectividad entre los humedales costeros, y en particular los humedales del Guadalquivir y área del Odiel-Tinto.

Las lagunas de este complejo se encuentran en un ámbito territorial muy antropizado. Su entorno inmediato está dedicado al cultivo intensivo de fresas y fresones, y están próximas a infraestructuras viarias y núcleos industriales. Con todo, la mayor transformación se realizó en la Laguna de Las Madres, que en la década de los sesenta se comenzó a desecar para su explotación como turbera. Su cubeta se compartimentó, y el fondo de la misma quedó completamente alterado tras la extracción de turba, por lo que la Laguna de las Madre de los años cincuenta era muy diferente a su actual aspecto.

Por tanto, la vegetación natural de este complejo lagunar se encuentra muy degradada, y está formada principalmente por un estrato arbóreo de pino piñonero (*Pinus pinea*), con algunas sabinas (*Juniperus phoenicea* subsp *turbinata*) y eucaliptos de repoblación (*Eucalyptus globulus*), acompañado por un matorral mediterráneo donde predomina el jaguarzo blanco (*Halimium halimifolium*), aulaga (*Ulex* spp.), distintas especies de jaras (*Cistus* spp.) y romero (*Rosmarinus officinalis*). Entre la vegetación palustre se pueden observar tarajes (*Tamarix* spp.), carrizos (*Phragmites australis*), castañuelas (*Scirpus maritimus*) y diversas especies de juncos (*Juncus* spp.). En sus aguas predominan distintas especies de macrófitos de los géneros *Ceratophyllum*, *Ranunculus*, *Nymphaea* y *Polygonum*.

Con respecto a la fauna, destaca la presencia de una rica y variada avifauna, pues si bien algunas son nidificantes, se trata de una zona de paso para numerosas especies, y concretamente el grupo más representativo son las anátidas. Entre la diversidad de aves, muchas de ellas amenazadas, sobresalen el ánsar común (*Anser anser*), pato colorado (*Netta rufina*) ánade real (*Anas platyrhynchos*), zampullín común (*Tachybaptus ruficollis*), garza real (*Ardea cinerea*), calamón común *(Porphyrio porphyrio)*, somormujo lavanco (*Podiceps cristatus*), garceta común (*Egretta garcetta*), avetorillo común (*Ixobrychus minutus*), y fumarel cariblanco (*Chlidonias hybridus*). Además destaca la presencia de la malvasía cabeciblanca *(Oxyura leucocephala*), la focha moruna (*Fulica cristata*) y la garcilla cangrejera (*Ardeola ralloides*).

Existen numerosos anfibios, y entre los reptiles, hay presencia de la lagartija colirroja (*Acanthodactylus erythrurus*), el lagarto ocelado (*Lacerta lepida*), el galápago leproso (*Mauremys leprosa*), y el camaleón.

Resaltar la existencia de una población de pejerrey (*Atherina boyeri*) no fragmentada y capaz de reproducirse aquí. Esta especie, no encontrada en enclaves próximos, como el Estero de Domingo Rubio o la Laguna del Portil, está catalogada como “Vulnerable” (CMA, 2005).

Aunque la presencia de mamíferos no es abundante, sobresale la existencia de nutrias (*Lutra lutra*), ratas de agua (*Arvicola sapidus*), así como del lince ibérico (*Lynx pardina*), pues es una zona de campeo y expansión desde la población del Parque Nacional.

[5.5]
Paraje Natural Marismas del Odiel

Dentro de este espacio natural, en el que predomina el ecosistema de marismas, existen también retazos de sistemas dunares. En la isla de Saltés se sitúa un complejo formado por varios cordones arenosos con morfología de gancho, originados por la refracción del oleaje y las corrientes de marea. Estos ganchos están situados actualmente en la zona norte y central de la isla, y se denominan el Almendral, el Acebuchal, la Cascajera y Cabezo Alto, y según dataciones de conchas mediante ^{14}C tienen una edad media de unos 3.000 años B.P., mientras que la zona meridional de la Cascajera muestra una edad de unos 1.400 años B.P. (Rodríguez *et al.*, 2000).

Estos cordones se extendían a lo largo de la bahía entonces existente, y al abrigo de estas barras arenosas se fueron depositando sedimentos finos, limos y arcillas, que conforman el sustrato de las zonas de marismas.

Los sistemas arenosos de estos ganchos contrastan enormemente con su entorno marismeño, al estar formado por un sustrato de materiales más gruesos que soporta una vegetación radicalmente distinta a la de marismas, dominada ésta por gramíneas y quenopodiáceas halófilas principalmente. Entre los ganchos arenosos también existen comunidades diferenciadas, ya que en los dos cordones situados al norte (el Almendral y el Acebuchal) predominan pastizales utilizados para la ganadería extensiva.

Sin embargo, en la Cascajera se asienta un bosque litoral mixto en un extraordinario estado de conservación. Se trata de un mosaico de pinar-sabinar con matorral mediterráneo. El estrato arbóreo está formado por pinos piñoneros y sabinas costeras de gran porte, y se encuentra acompañado por matorral mediterráneo con magníficos ejemplares de gran tamaño y densidades, con coberturas tan altas que dificultan su paso. En este estrato destacan lentiscos (*Pistacia lentiscus*), espino negro (*Rhamnus lycioides* subsp. *oleoides*), bayón (*Osyris lanceolata* syn. *O. quadripartita*), jaguarzo blanco (*Halimium halimifolium*), jara pringosa o ládano (*Cistus ladanifer*), jaguarzo morisco o jara negra (*Cistus salviifolius*) y romero (*Rosmarinus officinalis*), entre otras. Esta comunidad se denomina *Rhamno angustifoliae-Juniperetum turbinatae*.

Al sur del Paraje Natural ya existían unos pequeños ganchos arenosos en la desembocadura del estuario de los ríos Odiel y Tinto, cuando en los años 80 se construyó sobre ellos, el espigón Juan Carlos I, de unos 15 km de longitud, para evitar la colmatación del canal navegable del puerto de Huelva. Por otro lado, la corriente litoral de deriva, que circula paralela a la costa en sentido este, transporta longitudinalmente entre 50.000-310.000 m^3/año en el tramo de Punta Umbría, y entre 50.000-327.250 m^3/año al suroeste del espigón de Huelva, según distintos modelos y fuentes (CEDEX, 2013a). Los sedimentos que transporta tropiezan con el espigón, provocando la disminución de su velocidad y, por tanto, facilita su deposición. Como consecuencia de todo esto, se ha producido una gran acumulación de arenas a barlovento del dique, donde se ha desarrollado un extenso sistema dunar, de unos 7 km de largo y unos 500 m por su lado más ancho. Así, en todo este proceso, el espigón de Punta Umbría ha favorecido el depósito de arenas en la zona sur del paraje natural y el desarrollo de unos bajos arenosos que se descubren con las bajamares en la bocana del canal de Punta Umbría.

Este nuevo sistema dunar tiene un pequeño cordón de dunas embrionarias, casi irrelevante, y le siguen unas incipientes dunas blancas poco desarrolladas de unos 50 cm de altura, que soporta su

comunidad característica pero con una menor riqueza específica y abundancia, con barrón (*Ammophila arenaria*), algodonosa (*Otanthus maritimus*), cardo marino (*Eryngium maritimum*) y grama marina (*Elymus farctus*), entre las especies más abundantes. También se puede vislumbrar cierto gradiente en la comunidad de arenales, pues en el extremo situado más al norte y de más antigüedad, aparecen especies características de sistemas más maduros, como sabinas y retamas blanca, que contrasta con la comunidad situada en la zona sur, desarrollada sobre depósitos más recientes. Entre la fauna, destacar la gran riqueza de avifauna, y entre ellas la presencia del charrancito (*Sterna albifrons*) que cría en estos arenales.

Las playas que se han formado son aprovechadas como zona de baño, con gran concurrencia de público, por lo que los gestores del espacio natural tomaron las medidas oportunas para reducir el impacto de los visitantes, con la instalación de aparcamientos, pasarelas para encauzar la afluencia hacia la orilla y algunas alambradas para evitar el acceso a otras zonas dunares.

[5.6]
Espacio Natural de Doñana

Constituido por dos parques, el Parque Natural y el Parque Nacional de Doñana, ambos bajo un mismo sistema de gestión, es uno de los espacios naturales más paradigmático en el ámbito mundial. En él y su entorno se han registrado unas 4.000 especies, de las que unas 2.000 son animales (EBD, en línea), y unas 1.500 corresponden a taxones vegetales (Valdés *et al.*, 2010), algunas descritas allí por primera vez, y unas pocas endémicas.

A lo largo de la historia se han desarrollado diversas flechas litorales en Doñana en dirección NO-SE, siguiendo la corriente litoral, que fueron cerrando la bahía situada en la desembocadura del Guadalquivir, por acción del viento, el mar y el propio río. El tipo de material sedimentado, finos de origen fluvial o gruesos de origen marino, dio origen a la formación de dos ecosistemas muy contrastados de enorme valor natural, las marismas y el sistema dunar.

Primeramente, atendiendo al tipo de sustrato, las marismas, asentadas sobre sedimentos arcillosos que al ser impermeables impiden la filtración de las aguas hacia el subsuelo y, por tanto, se acumulan en superficie, formando un humedal utilizado por una gran comunidad de aves. Por otro lado, un manto de arenas se extiende por gran parte del espacio, y que a diferencia del anterior, no retiene el agua de las lluvias, por lo que se llega a filtrar, generando un sistema eminentemente seco.

A su vez, se reconocen dos grandes sistemas eólicos arenosos, uno más antiguo y estabilizado que localmente se denomina monte o coto, y se sitúa principalmente en las zonas de El Abalario, El Asperillo y, norte y oeste del Parque Nacional; y otro más reciente que continúa activo en el interior del Parque Nacional.

Este último es probablemente el más extenso y activo de Europa (Sanjaume *et al.*, 2011), ocupando unos 60 km^2, con un frente costero de unos 20 km, y que se adentra hacia el interior unos 4 km. En las dunas más próximas al mar se desarrolla la comunidad típica de los primeros cordones dunares, con dunas embrionarias y dunas blancas, caracterizada ésta por la presencia de *Ammophila arenaria* junto a su cohorte acompañante.

A continuación se localizan las dunas transgresivas, formadas por entre 5-6 trenes dunares, que desde la costa crecen y se desplazan hacia el interior continental en dirección SO-NE debido a la acción del viento predominante. Por tanto, los cordones más antiguos son los más próximos a la marisma, donde se sitúa la duna móvil más grande de Europa, el Cerro de los Ánsares, de unos 30 m. de altura. Es un sistema muy dinámico con tasas de avance de hasta 5-6 m/año (García Novo *et al.*, 1976).

Entre los sucesivos trenes aparecen los denominados corrales, que son depresiones interdunares con pequeños bosques de pinos piñoneros. Con el avance del frente dunar, los pinos no pueden frenar la progresión de las arenas, y son enterrados. Tras el paso de la duna aparece lo que localmente se denominan "campos de cruces", esqueletos de los pinos anteriormente enterrados que asoman tras la cola dunar. Después se comienza a colonizar nuevamente esta cola dunar por pinos y vegetación acompañante, que alcanzan el freático con sus raíces, formando un nuevo corral. En estos corrales, los pinos están acompañados por especies arbustivas, como el lentisco (*Pistacia lentiscus*), labiérnago (*Phillyrea angustifolia*), clavelina (*Armeria pungens*) y siempreviva (*Helichrysum picardii*). A veces se pueden generar pequeñas lagunas temporales debido a que el nivel freático es muy superficial, y es colonizado por juncos (*Juncus acutus* y *Scirpoides holoschoenus*), camarinas, adelfas (*Nerium oleander*), etc. junto a una cohorte de terófitas hidrófilas.

En las dunas móviles aparecen enebrales costeros muy dispersos, con presencia de algunos ejemplares de enebros viejos y de gran tamaño, especialmente los situados en las zonas más altas de las dunas. La regeneración de esta especie es baja, por lo que su tasa de reposición pone en peligro su existencia. Anteriormente formaban extensos bosquetes, pero el uso de su madera en los trabajos de la almadraba situada en la playa contribuyó a la reducción de sus efectivos.

Con respecto al sistema de monte o coto, las arenas se estabilizan pues el viento sopla con menor intensidad ya alejada de la influencia marina, y además, la presencia de una densa vegetación frena o impide el avance de las arenas. Un matorral mediterráneo con algunos pies dispersos de grandes ejemplares de alcornoque (*Quercus suber*), sabina (*Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata*), madroño (*Arbutus unedo*), acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris*) y labiérnago (*Phillyrea angustifolia*) conforman parte de la vegetación. A veces, es fácil encontrar densas manchas de pino piñonero (*Pinus pinea*) de gran tamaño. La ondulación del terreno hace que las zonas más altas estén más alejadas del nivel freático que las zonas más bajas. Este factor ambiental distribuye a las especies en función de sus requerimientos, formándose dos comunidades diferentes:

Monte blanco: la vegetación más clara, se sitúa en la cresta del terreno ondulado, y está adaptada a la escasez de agua. Aquí se encuentran el jaguarzo blanco (Halimium halimifolium), la aulaga (Stauracanthus genistoides), la jara (Cistus salvifolius, C. libanotis), el cantueso (Lavandula stoechas), el romero (Rosmarinus officinalis) y la mejorana (Thymus mastichina). Se ubica en zonas topográficas más altas.

Monte negro: Es un matorral hidrofítico típicamente atlántico de color oscuro (de ahí su nombre), denso, apretado e impenetrable, dominado por varias especies de brezos (*Erica scoparia*, *E. umbellata*, *E. ciliaris*), brecina (*Calluna vulgaris*), que se entremez-

clan con mirto (*Mirtus communis*), labiérnago (*Phillyrea angustifolia*), zarzas (*Rubus ulmifolius*), tojos (*Ulex minor*), torvisco (*Daphne gnidium*) y aulagas (*Ulex australis*). Estas especies son incapaces de sobrevivir sin un aporte continuado de agua en verano, pero resisten bien el encharcamiento invernal.

El monte es el hábitat principal de algunas de las especies animales más conspicuas y emblemáticas de Doñana, con abundante presencia de los diversos grupos de vertebrados, como el ciervo (*Cervus elaphus*), el gamo (*Dama dama*), el jabalí (*Sus scrofa*), el zorro (*Vulpes vulpes*), el tejón (*Meles meles*), el meloncillo (*Herpestes ichneumon*), la liebre (*Lepus granatensis*) y el lirón careto (*Elyomis quercinus*) entre otros mamíferos, además del amenazado lince ibérico (*Lynx pardinus*). También se han registrado reptiles, como la culebra bastarda (*Malpolon monspessulanum*), la culebra de collar (*Natrix natrix*), la culebra viperina (*Natrix maura*), la lagartija colirroja (*Acanthodactylus erytrurus*) y la tortuga mora (*Testudo graeca*); y anfibios, representados por el sapo de espuelas (*Pelobates cultripes*). Entre algunas especies de aves se encuentran el milano real (*Milvus milvus*), el milano negro (*Milvus migrans*), el cernícalo (*Falco tinnunculus*), el águila calzada (*Hieraaetus pennatus*), la culebrera europea (*Circaetus gallicus*), el busardo ratonero (*Buteo buteo*), el pito real (*Picus viridis*), la curruca rabilarga (*Sylvia undata*), el críalo (*Clamator glandarius*), la curruca cabecinegra (*Sylvia melanocephala*), el alcaraván común (*Burhinus oedicnemus*), entre otras muchas, y la especie de ave más amenazada, el águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*).

[6] Impactos

La alteración de las costas arenosas es un problema a escala global. Son numerosos los factores que intervienen en los cambios masivos producidos en estos ecosistemas, unos de carácter natural, y los más graves causados por el hombre.

Temporales y tormentas recurrentemente erosionan las zonas de playas, alcanzando hasta los cordones de dunas blancas, y eliminan gran parte de sus materiales, en ocasiones hasta su total desaparición [FIGURA 12-11A]. No es raro observar la pérdida de enormes zonas de playas casi todos los años en el litoral onubense tras un período de temporales, los cuales también llegan a afectar a núcleos habitados, viviendas, infraestructuras, paseos marítimos o servicios urbanos (Matalascañas, Punta Umbría, La Antilla,...). Son cambios naturales, no mediados directamente por el hombre, pero de los que el sistema dunar, debido a su carácter dinámico, consigue restituirse mediante la autorregeneración natural siempre que se mantenga el equilibrio en él. A veces, debido a las presiones turísticas para utilizar las playas como zonas de baño durante la época estival, son regeneradas artificialmente mediante el aporte de arenas con el fin de acelerar su restablecimiento [FIGURA 12-11B]. Pero son parches efímeros pues estos fenómenos son periódicos. Otras veces se han tomado medidas extraordinarias para proteger zonas urbanizadas del embate del oleaje durante los temporales, como

FIGURA 12-11

A: Efectos de los temporales en los Enebrales de Punta Umbría, con desaparición parcial de playa, dunas embrionarias y gran parte del cordón de dunas blancas.

B: Restitución de arenas en la playa de la Bota. Al fondo, el barco-draga que las extrae del fondo marino, las transporta y deposita en la playa.



el emplazamiento de escolleras en la playa de Isla Canela. Son actuaciones a corto plazo y a nivel local que no resuelven el problema a mayor escala espacial y temporal.

Las dunas han sido ocupadas, degradadas y transformadas, en muchos casos llegando a su total eliminación. En general, los sistemas dunares son uno de los ecosistemas más amenazados por la actividad humana, pues poseen un enorme valor debido a su estratégica situación. El efecto regulador del mar sobre el clima local que suaviza las temperaturas, la topografía relativamente plana, los materiales sueltos y fácilmente manipulables que constituyen las dunas, son algunas de las causas propicias para que aquellas actividades necesitadas de su cercanía requieran utilizar estos terrenos para instalarse sobre ellos. Todo ello explica la existencia de una gran demanda de superficie que provoca una enorme presión sobre este ecosistema.

Son numerosas las causas que modifican el sistema dunar, urbanizaciones a pie de playa, extracción de arenas, construcción de infraestructuras que modifican la dinámica costera, plantaciones forestales, vías de comunicación, circulación de vehículos a motor, herbivoría de ganado, etc. [FIGURA 12-12] En un paseo por la costa es frecuente ver numerosas urbanizaciones o instalaciones situadas en zonas ocupadas anteriormente por antiguos cordones dunares [FIGURAS 12-13 Y 12-14]. Esto no es un mal exclusivo de la provincia de Huelva, sino que es endémico en casi todo el litoral mundial.

El resultado es que, bien de forma directa, mediante la ocupación física del espacio, o bien indirecta al romper el equilibrio natural del sistema completo, se está produciendo una pérdida irreparable de este valioso ecosistema y su biodiversidad, además de su fragmentación con la consiguiente reducción de conectividad. Es un daño prácticamente insalvable puesto que un escenario de reversión total, eliminando, por ejemplo, las urbanizaciones costeras, es inimaginable.

Actividades que en un primer momento puede pensarse que no generan impactos en las dunas, realmente lo ejercen. Como el uso para baño de las playas, pues la multiplicación de accesos hacia las playas origina su erosión, y una red de pasillos de deflación puede llegar a romper el cordón, alteraciones en la morfología dunar, deterioran la vegetación y causan molestias a la fauna. O también, por ejemplo, la introducción de especies exóticas invasoras, ya sea escapadas de cultivos y jardines, o bien dispersadas intencionadamente por el hombre, como ocurre con la uña de león (*Carpobrotus edulis, sensu lato*), de origen sudafricano y que era empleada como ornamental y en la fijación de taludes y dunas móviles que generaban problemas al mantenimiento de infraestructuras públicas. Los hábitats invadidos son fundamentalmente dunas móviles secundarias y arenas estabilizadas por vegetación de mayor porte (enebrales, sabinares, retamares, etc.) donde además son frecuentes las repoblaciones con pino piñonero. Los efectos de la presencia de esta especie en las comunidades vegetales afectadas son diversos: por un lado, competencia por el espacio, pues sus estolones avanzan por encima de los individuos vecinos; favorece la adición de materia orgánica al modificar el contenido nutricional de suelos originalmente pobres en nutrientes; y, además puede producir interferencias en la polinización de especies autóctonas vecinas (Dana, 2010). Su eliminación total es difícil, a pesar de que mediante personal especializado y campañas de voluntariado lo han intentado frecuentemente, ya que vuelve a rebrotar a partir de restos de estolones que no hayan sido eliminados. También en el sistema dunar del Parque Nacional de Doñana, junto a las formaciones del amenazado enebral costero (*Juniperus oxycedrus* subsp. *macrocarpa*), se localizó en 1994 la hierba del asno (*Oenothera drummondii*), originaria de norteamérica, y que mediante el arranque manual de los ejemplares efectuado

FIGURA 12-12

Impacto del paso de vehículos sobre las dunas embrionarias.



desde entonces se consiguió erradicarla desde 2002 (Cobo García, 2010), no así en los arenales del Espigón Juan Carlos I, donde la población sigue en expansión a pesar de las campañas para su eliminación, alcanzando altas densidades. Ciertamente son especies con bellos colores pero que ponen en peligro a la vegetación autóctona.

Afortunadamente, en la actualidad, se ha alcanzado un alto grado de conciencia social para la conservación de los sistemas dunares, y con la llegada relativamente reciente de normas jurídicas que las protegen y ordenan el territorio, la mayor parte de estas actuaciones en el litoral están prohibidas o reguladas en nuestras costas.

Otro problema a largo plazo ocurrirá como consecuencia del previsible aumento del nivel del mar bajo el contexto actual de cambio global, que incrementará el grado de vulnerabilidad de la costa. Entre sus posibles efectos se encuentran un aumento de la cota de inundación, modificación en la capacidad de transporte, variación en la tasa de crecimiento dunar, y un retroceso de las playas y sistema dunar. Con este escenario, según distintos modelos, el recorrido horizontal del mar en nuestras costas avan-

FIGURA 12-13

Evolución de los cambios ocurridos en parte de la costa de Punta Umbría.
A: 1956, **B:** entre 1977-83, **C:** 2001, **D:** 2013.

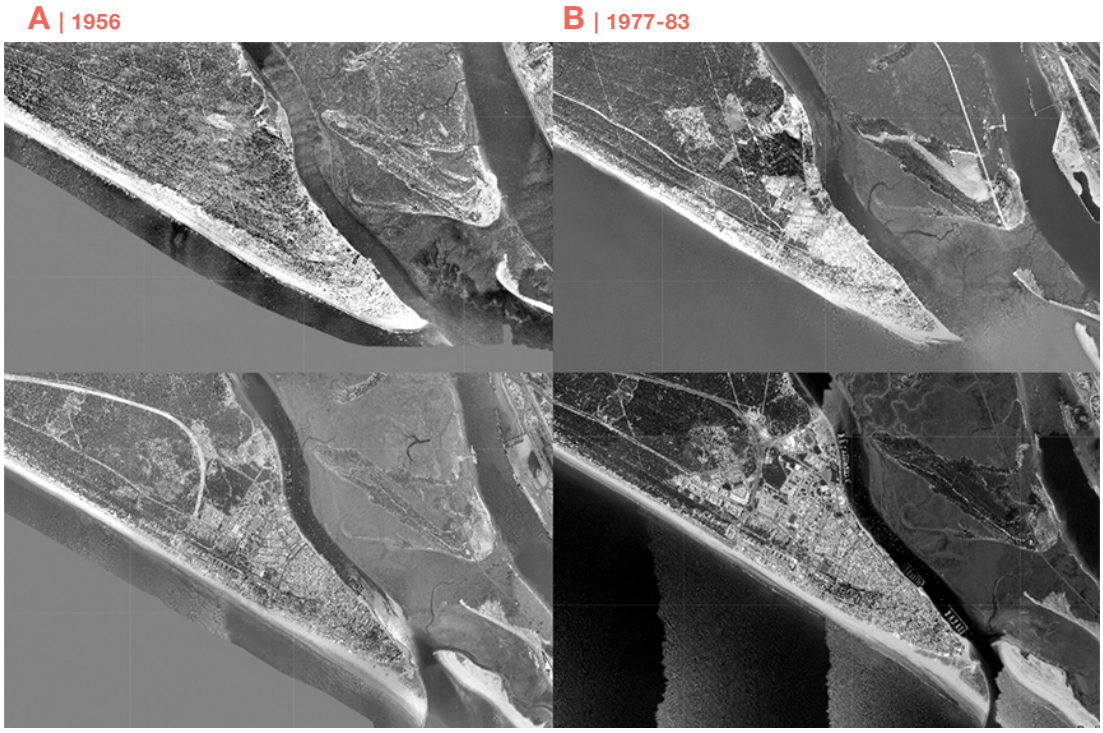
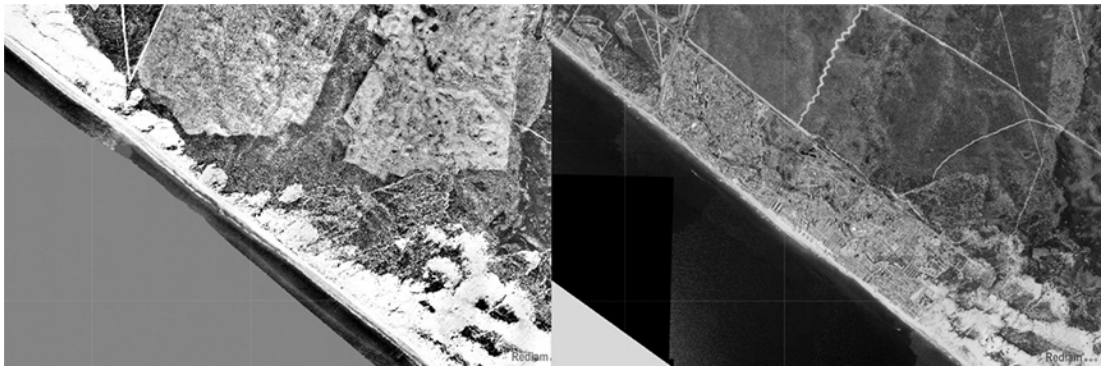


FIGURA 12-14

Evolución de los cambios ocurridos en la costa de Matalascañas.
A: 1956, **B:** 2013.

A | 1956 **B** | 2013



zaría aproximadamente entre 21 y 84 m para el 2050, y entre 41 y 237 m en el 2100 (CEDEX, 2013b), que conllevará un efecto rápido y directo sobre los bienes situados en la costa. Se impone reflexionar que, bajo el citado contexto, la mayor parte de los ecosistemas litorales se encuentran actualmente acosados por urbanizaciones e instalaciones levantadas en su frontera, y cuando el mar intente expandirse no tendrá espacio de amortiguación hacia donde escapar sin entrar en conflicto con hombre.

El efecto amortiguador que proporcionan los sistemas dunares, capaces de absorber parte del impacto marino, puede ser añorado en un futuro ante el preocupante ascenso del nivel del mar, como ahora ocurre cuando actúan los temporales directamente sobre viviendas e infraestructuras que ocupan el espacio del que se eliminó un sistema dunar.

A pesar de todo, los sistemas dunares remanentes ubicados en la provincia de Huelva gozan actualmente, en general, de un estado de conservación favorable.

[7] Bibliografía

| Alcaraz Ariza, F.; Garre Belmonte, M. (1985). *Las adaptaciones de las plantas en las dunas litorales del sureste de España*. Secretariado de publicaciones, Universidad de Murcia. Anales de Biología. 4 (Biología Ambiental, 1): 11-14. https://revistas.um.es/analesbio/article/view/35101/33631

- Balaguer Huguet, P.; Roig-Munar, F.X. (2016). *Sistemas dunares litorales y el concepto de gestión integrada de zonas costeras y marinas (GIZCM).* En: Roig-Munar, F. X. y Quintana Pou, F. J. (Coords.). Restauración y Gestión de Sistemas Dunares. Estudio de casos. Colección Recerca i Territori, 8. Gerona. España.
- Balao, F., Caldas, F.B., Casimiro-Soriguer Solanas, F., Sánchez-Gullón, E.; Talavera Lozano, S. (2013). *Thymus carnosus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T162164A5551116. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-1.RLTS.T162164A5551116
- CEDEX (2013a). *Estudio de la dinámica litoral, defensa y propuesta de mejora en las playas con problemas: estudio de actuación del tramo de costa comprendido entre las desembocaduras de los ríos Guadiana y Guadalquivir*. Informe parcial-junio. Centro de Estudios de Puertos y Costas Madrid. 169 pp.
- CEDEX (2013b). *Estudio de la dinámica litoral, defensa y propuesta de mejora en las playas con problemas: estudio de actuación del tramo de costa comprendido entre las desembocaduras de los ríos Guadiana y Guadalquivir*. Informe final. Centro de Estudios de Puertos y Costas Madrid. 82 pp.
- CMA (Consejería de Medio Ambiente) (2005). *Caracterización ambiental de humedales en Andalucía.* Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla, 511 p.
- Cobo García, M.D. (2010). *Gestión de especies exóticas invasoras en el Parque Nacional de Doñana, Andalucía*. En: Especies exóticas invasoras en Andalucía: Talleres provinciales 2004-2006. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.
- Dana, E.D. (2010). *Especies vegetales invasoras en Andalucía*. En: Especies exóticas invasoras en Andalucía: Talleres provinciales 2004-2006. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.
- Davy, A.J.; Figueroa, M.E. (1993). *The colonization of strandlines*. En: Primary succession on land, J. Miles and D.W.H. Walton (eds). Blackwell Scientific Publications. London. 113-131.
- Dech, J.P.; Maun, M.A. (2005). *Zonation of vegetation along a burial gradient on the leeward slopes of Lake Huron sand dunes*. Canadian Journal of Botany 83: 227–236.
- Dellafiore, C.M.; Muñoz Vallés, S.; Gallego Fernández, J.B. (2006). *Rabbits (Oryctolagus cuniculus) as dispersers of Retama monosperma seeds in a coastal dune system*. Écoscience, 13 (1): 5-10.
- Díaz-Paniagua, C.; Fernández-Zamudio, R.; Serrano, L.; Florencio, M.; Sousa, A.; García Murillo, P.; Siljestrom, P. (2016). *El sistema de lagunas temporales del Parque Nacional de Doñana: aplicación a la gestión y conservación de hábitats acuáticos singulares*. En: Proyectos de investigación en Parques Nacionales: 2011-2014. Organismo Autónomo Parques Nacionales (Ed). Serie Investigación en la Red. Organismo Autónomo de Parques Nacionales (OAPN), Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. pp. 37-59.
- Estación Biológica de Doñana (EBD). *Cuadernos de Campo de Doñana*. http://www.cuadernosdecampo.es/Website/Biodiversidad/Biodiversidad.aspx [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
- Fernández Zamudio, R.; Sousa, A.; García Murillo, P. (2007). *Laguna de las Madres: Huelva: flora y vegetación*. Dirección General de Gestión del Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla. 286 p.
- Figueroa, M.E., Rubio Casal, A.E., Castillo Segura, J.M., Castellanos, E.M.; Luque, C.J. (2003). *El enebro marítimo en Andalucía*. Medio Ambiente (Revista de la Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía), 44, 34-37.
- Gallego-Fernández, J.B., Muñoz Vallés, S.; Dellafiore, C. (2006). *Flora y vegetación de la Flecha Litoral de Nueva Umbría, Lepe-Huelva*. Ayuntamiento de Lepe, Lepe, 134 pp.
- García Novo, F., Ramírez Diaz, L.; Torres, A. (1976). *El sistema de dunas de Doñana*. Naturalia Hispanica, 5:51-52.

- Gracia Prieto, F.J., Sanjaume, E., Hernández, L., Hernández, A. I., Flor, G.; Gómez-Serrano, M.Á. (2009). *Dunas marítimas y continentales*. En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 106 p.
- Gracia, F.J. (2009). 2120 *Dunas móviles de litoral con Ammophila arenaria (dunas blancas)*. En: VV.AA., Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 48 p.
- Grillas, P.; Gauthier, P.; Yavercovski, N.; Perennou, C. (eds.) (2004). *Mediterranean temporary pools*. Station Biologique de la Tour du Valat, Le Sambuc.
- Harris, D.; Davy, A.J. (1986). *Strandline colonization by Elymus farctus in relation to sand mobility and rabbit grazing.* Journal of Ecology. 74. 1045-1056.
- Ley, C.; Gallego Fernández, J.B.; Vidal, C. (2007). *Manual de restauración de dunas costeras*. Dirección General de Costas. Ministerio de Medio Ambiente.
- López-Pérez, J.J.; García Casas, J. (2007). *Una nueva especie para Europa continental y la Península Ibérica: Calomera lunulata (Fabricius, 1781) de la Isla de Saltés, Huelva, Andalucía (Coleoptera: Cicindelidae).* Boletín de la Asociación Española de Entomología, 31 (1-2): 127-134.
- López-Pérez. J.J. (2009). *Descripción de una nueva especie de Akis Herbst, 1799 de la Isla de Saltés, provincia de Huelva (Coleoptera, Tenebrionidae, Akidini).* Boletín de la Asociación Española de Entomología: 33 (3-4): 503-515.
- McIntyre, A.D. (1977) *Sandy foreshores*. En: The Coastline, (ed. R. S. K. Barnes), Wiley, London, pp. 31-47.
- Morales, J.A.; Cantano, M.; Rodríguez-Ramírez, A.; Martín Banda, R. (2006). *Mapping geomorphology and active processes on the coast of Huelva (Southwestern Spain).* Journal of Coastal Research, 48 (Proceedings of the 3rd Spanish Conference on Coastal Geomorphology), 89-99. Las Palmas de Gran Canarias, Spain. Pag. 90.
- Moreno-Casasola, P. (1986). *Sand movement as a factor in the distribution of plant communities in a coastal dune system*. Vegetatio 65: 67-76.
- Ortiz Herrera, M.A.; de Vega Durán, C.; Talavera Lozano, S. (2004). *Linaria lamarckii Rouy*. En: Bañares, Á.; Blanca, G.; Güemes, J.; Moreno, J.C. y Ortiz, S. (eds.). *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Madrid, 1.069 pp.
- Plaza Arregui, L.; Rodríguez Hiraldo, C. (2009). *La recuperación de Linaria lamarckii.* Conservación Vegetal (Boletín de la Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas), 13: 16-17.
- Rodríguez, A.; Cáceres, L.M.; Rodríguez, J. (2000). *Dinámica y evolución de flechas litorales: el litoral onubense (SO, España). pp. 101-113*. En: Geomorfología litoral: Procesos activos. De Andrés, J.R. y Gracia, F.J. (eds). Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.
- Sanjaume, E.; Gracia, F.J.; Flor, G. (2011). 1. *Introducción a la geomorfología de sistemas dunares*. En: Las dunas en España. Sanjaume Saumell, E. y Gracia Prieto, F.J. (Eds.). Sociedad Española de Geomorfología.
- Talavera, M.; Balao, F.; Casimiro-Soriguer, R.; Sanchez-Gullón, E.; Talavera, S. (2010). *Thymus carnosus Boiss.* En: Atlas y Libro Rojo de la Flora Vascular Amenazada de España. Adenda 2010. Bañares, Á., G. Blanca, J. Güemes, J.C. Moreno & S. Ortiz, (eds.). Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino)-Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas. Madrid, 170 pp.
- Valdés, B.; Girón, V.; Sánchez-Gullón, E.; Carmona, I. (2010). *Guía de las especies de interés de la flora de Doñana y su Comarca*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.



Se terminó de editar el libro
Biología de Huelva
Naturaleza, Biodiversidad,
Bioindicadores y Biomarcadores
el 12 de mayo de 2022,
estando al cuidado de la edición
el Servicio de Publicaciones
de la Universidad de Huelva


DIPUTACIÓN
DE HUELVA
Universidad
de Huelva
CÁTEDRA
DE LA PROVINCIA