

El cultivo de especies acuáticas es un sistema utilizado desde tiempos remotos, existiendo datos históricos de aproximadamente unos tres mil años en China (475 aC). En Europa, se encontraron instalaciones de cultivo durante la Edad Media, sin embargo fue a partir del año 1934 en Japón, con los trabajos de Hudinaga, cuando se comienza a hablar de una verdadera Acuicultura con bases científico-técnicas. Su evolución, debido a la Segunda Guerra Mundial, se produjo muy lentamente, hasta que en la década de los 70 la producción acuícola mundial comenzó a desarrollarse progresivamente.

En la región suratlántica española, una de las especies marinas de mayor interés económico-comercial es la dorada, *Sparus aurata*. Con el objetivo de diversificar el cultivo de peces y su comercialización, en la actualidad una buena parte de los esfuerzos en I+D+I en Acuicultura, se están centrando en otros peces comerciales (dentón, seriola, lenguado, pargo, hurta, sargo, etc.), entre las que se incluye el lenguado senegalés, *Solea senegalensis*. De hecho, hoy en día, se están desarrollando numerosos proyectos de investigación nacionales e internacionales, en los que se pretende conseguir, a lo largo de todo el año, la reproducción del lenguado senegalés en cautividad, así como su cultivo larvario de forma masiva e integral.

El lenguado senegalés se ha adaptado perfectamente a climas cálidos y es cultivado mayoritariamente de forma extensiva en el sur-oeste de la Península Ibérica. En la década de los 80, investigadores del ICMAN (CSIC) consiguieron la reproducción de ejemplares de lenguados estabulados durante dos años en el laboratorio, obteniéndose una tasa de eclosión del orden del 80%. Recientemente, investigadores del CICEM-El Toruño (Junta de Andalucía) describen la reproducción en cautividad, de forma periódica y bajo fluctuaciones naturales y anuales de la temperatura, así como las tasas de eclosión y fecundidad del lenguado senegalés.

Por otro lado, la interpretación de las estructuras celulares, tejidos y órganos tal y como son en estado vivo, es el objetivo fundamental de la Histología. La mayor parte de los textos que describen la morfoestructura y/o función de los diferentes órganos y tejidos se refieren a vertebrados superiores, dedicando breves capítulos a los peces. Sin embargo, cada vez son más abundantes las revisiones y compendios sobre histología, principalmente en salmónidos, así como las publicaciones, cada vez más numerosas, relacionadas con aspectos histofisiológicos de diferentes órganos y tejidos de peces, como se refleja en las referencias bibliográficas citadas a lo largo de esta contribución.

El conocimiento de la morfoestructura y función de los diferentes órganos y tejidos (gonada, cerebro, sistema hipofisario, digestivo, hígado, etc.) de peces planos y en concreto del lenguado senegalés es parcial y más o menos reciente. Existen referencias bibliográficas relacionadas con determinados aspectos de su cultivo extensivo y reproducción natural, patologías infecciosas, características histoquímicas y bioquímicas (proteínas, lípidos, glúcidos) durante el desarrollo larvario y en adultos, alimentación lar-

varia y control neuroendocrino de la reproducción. Finalmente, queremos destacar dos interesantes revisiones recientes realizadas sobre las potencialidades del cultivo de *Solea senegalensis* en España y Portugal, y en comparación con la especie *Solea solea*.

Como ya se ha señalado, el interés por el cultivo del lenguado senegalés se remonta al inicio de las investigaciones y desarrollo de la Acuicultura Marina en la década de los 70. En la actualidad, teniendo en cuenta que su cultivo no se ha conseguido totalmente de forma intensiva e integral, y no se conoce el control de su reproducción, como sucede con la dorada y otras especies de teleósteos, se consideró de interés realizar un estudio morfológico-estructural e histoquímico de diferentes órganos y tejidos somáticos y gonadales en ejemplares adultos de lenguado senegalés, *Solea senegalensis*, con el fin de disponer de un patrón de referencia, que pueda ser útil para valorar los cambios y/o problemas reproductivos, las alteraciones que agentes infecciosos (bacterias, virus, hongos, parásitos), condiciones medio-ambientales adversas (oxígeno, temperatura, compuestos nitrogenados, contaminantes, etc.), y alimentación artificial puedan producir en la reproducción y cultivo de esta especie de gran interés económico-comercial, y cuya producción se realiza mayoritariamente de forma extensiva en las salinas de Cádiz.

IMPORTANCIA DE LA ACUICULTURA EN LA PRODUCCIÓN DE PECES

El cultivo de peces es una actividad milenaria procedente de China, donde inicialmente se limitaba al mantenimiento de carpas vivas en agua dulce. Esta actividad ha ido desarrollándose poco a poco por todo el mundo, hasta que en los últimos años se ha convertido en una industria de importancia relevante, ya que ofrece un mejor aprovechamiento de los recursos naturales en las zonas litorales; contribuyendo a aumentar la producción/explotación pesquera, significativamente, y constituyendo, por tanto, un excelente complemento para el abastecimiento del mercado piscícola. Paralelamente, el desarrollo de la acuicultura supone un importante factor de revitalización en zonas costeras deprimidas, integrándose en el paisaje con un impacto ambiental menor que otras actividades. Por otro lado, y debido a la demanda creciente del mercado, el desarrollo integral de la acuicultura parece ya un hecho irreversible. Así, Pillay (1990) ya estimó que la producción acuícola debería sobrepasar los 26 millones de toneladas a finales de siglo.

En España, la acuicultura ha llegado a constituir un sector productivo de gran interés, produciéndose más de 270.000 toneladas, a principios de los noventa (JACUMAR, 1992). La costa andaluza contribuye en gran parte a aumentar el nivel de dicha producción en España, ya que dispone de considerables extensiones de terreno (30.000 ha), aprovechables para el desarrollo de los cultivos marinos. Las condiciones bioclimáticas de la región suratlántica española, la abundancia de alevines naturales y la posibilidad de utilizar la producción natural de los diferentes eslabones de la cadena alimentaria, permiten un considerable ahorro en los costes de producción, muy inferiores a los derivados de una producción monoespecífica e intensiva, ya que una actividad acuícola de explotación intensiva, necesita una importante biotecnología que debe incluir, tanto la disponibilidad de una infraestructura que englobe el aporte de agua y los circuitos de cultivo, como técnicas de cultivo que tengan en cuenta la biología de la especie: esto es el tipo y época de reproducción, la naturaleza de las puestas, el modo de incubación de los huevos y la alimentación de los reproductores, larvas y juveniles.

Actualmente, son muchos los recursos y las especies que están siendo utilizadas para los cultivos y este número sigue aumentando progresivamente. En la mayoría de los grupos, se incluyen especies de peces, crustáceos, moluscos, plantas acuáticas, etc., calculándose unas 190 especies cultivadas en todo el mundo, de las cuales más de 100 especies son cultivadas en el Sudeste de Asia (FAO, 1991).

La elección de la especie a cultivar debe basarse en su valor comercial, en la velocidad de su crecimiento y en la disponibilidad de larvas y juveniles recolectados del medio natural. En la costa suratlántica española, la dorada, *Sparus aurata*, el robalo, *Dicentrarchus labrax* y el lenguado senegalés, *Solea senegalensis* parecen responder bien a estas condiciones, lo que ha permitido una progresión rápida de la producción de alguna de las especies señaladas, como es el caso de la dorada en los últimos años (Figura 1).

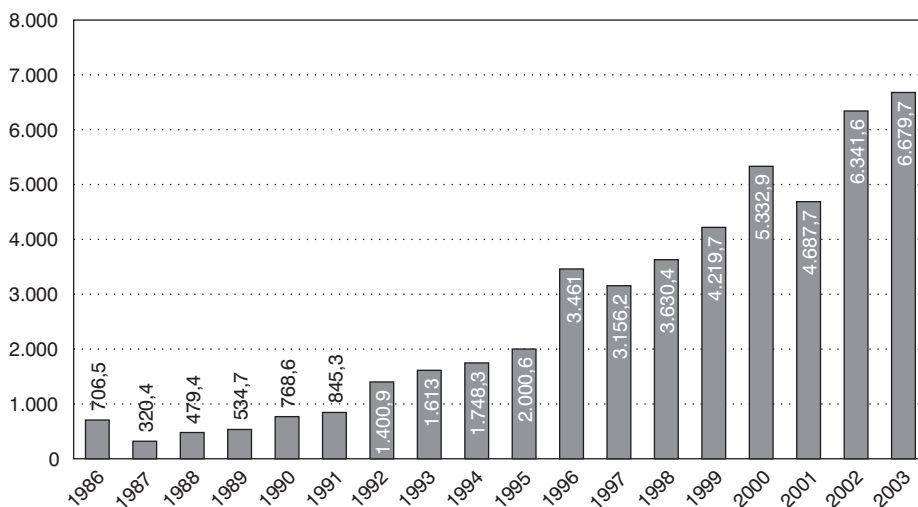


Figura 1.—Evolución de la Producción Acuicultura en Andalucía (Junta de Andalucía, 2003-2004).

Datos publicados recientemente de esta misma fuente reflejan la siguiente producción y valoración de la acuicultura de engorde en Andalucía durante el año 2003, para algunas especies de peces comerciales:

- Dorada: 4.385 toneladas y 20 millones €;
- Lubina: 1.765 toneladas y 12 millones €,
- Lenguado: 28 toneladas y 260.000 €
- Lisas: 32 toneladas y 500.000 €.

LIMITACIONES DEL CULTIVO DE PECES EN ACUICULTURA

La producción acuícola actual se limita al cultivo de una o varias especies, presentando una serie de problemas o limitaciones de tipo biológico, técnico, económico y comercial (Heggberget, 1996; Rabanal, 1996).

- Las limitaciones **biológicas** están relacionadas con el conocimiento de la especie (crecimiento, comportamiento alimentario y reproductivo, fecundidad, etc.), estrategias de recolección, comportamientos migratorios y riesgos sanitarios por la transmisión de enfermedades y parásitos (generalmente estos suelen ser más importantes en monocultivos que en policultivos), además de los problemas nutricionales, que se encuentran relacionados con una producción semintensiva o con una mala eficiencia alimentaria/nutricional de la especie en cultivo.
- Las limitaciones **técnicas** se basan en la disponibilidad de una zona adecuada, que debe presentar una buena calidad ambiental y una temperatura óptima. Las tecnologías clásicas no permiten resolver siempre los problemas relacionados con zonas que no presenten estas condiciones, por lo que es necesario un estudio técnico adicional, para el mantenimiento de las condiciones físico-químicas adecuadas, así como el uso de un moderno equipamiento automatizado y computarizado.
- Las limitaciones **económicas** están relacionadas con la utilización de lugares en los que ya se realizan otras actividades como turismo, pesca, urbanización e industria, tal como sucede en el Mediterráneo, aunque, actualmente, los estudios de mercado relacionados con la acuicultura están presentando buenos resultados.
- Los problemas **comerciales** se deben al hecho de que la producción de una o dos especies, puede llevar al productor a la ruina temporal o permanente del mercado, en caso de una superproducción o debido a la presencia de problemas patológicos/sanitarios. Asimismo, la utilización de especies no autóctonas en la zona, genera además de otros problemas obvios, como nuevas patologías y competitividad, mayores gastos globales motivados por la necesidad de desarrollar nuevos mercados para esos productos.

Frente a estos elementos negativos para el futuro de la acuicultura, se pretende establecer la diversificación de la producción acuícola, la cual no debe recaer sólo sobre organismos de la misma especie, sino también sobre las técnicas usadas y sobre los tipos de productos presentes en el mercado. Para la diversificación de la producción piscícola, es importante introducir especies que presenten buenos potenciales, tanto de crecimiento como comerciales. Entre los teleósteos, los Pleuronectiformes responden bien a estas características, ya que en condiciones de cultivo adecuadas, el rodaballo por ejemplo puede alcanzar 400 g en un año y 2 kg en 2 años desde la eclosión (Person-Le-Ruyet *et al.*, 1981). Por otra parte, entre los Soleidos, la especie *Solea vulgaris* ha sido objeto, desde finales del siglo XIX, de numerosos ensayos de cultivo (Cunningham, 1890; Butler, 1895; Fabre-Domergue y Bietrix, 1905). Estos trabajos han sido continuados por Flüchter (1965), Shelbourne (1967) y Fuchs (1978) en la misma especie y por Rodríguez y Pascual (1982), Rodríguez (1984), Dinis y Reis (1995) y Dinis *et al.* (1999) en una especie afín: el lenguado senegalés, *Solea senegalensis*.

Ambas especies, *Solea vulgaris* y *Solea senegalensis*, están presentes en las costas andaluzas (Este del Atlántico y Oeste del Mediterráneo). La frecuencia de capturas de *Solea senegalensis* y la facilidad de aprovisionamiento de reproductores incitaron a emprender el cultivo de esta especie en la década de los 80.

CULTIVO DE PLEURONECTIFORMES

La reproducción de peces planos en cautividad ha sufrido fluctuaciones cronológicas importantes. La obtención de larvas a partir de huevos recolectados y fertilizados datan de finales del siglo XIX. Así, Meyer (1878), Fullarton (1888), Peterson (1894) y Dannevig (1897) realizaron las primeras descripciones del desarrollo embrionario y larvario de la platija, *Pleuronectes platessa*.

Paralelamente, las primeras puestas del lenguado común, *Solea vulgaris* del Atlántico Norte fueron realizadas en el Acuario de Plymouth (Cunningham, 1890; Butler, 1895). Posteriormente, en Concarneau, se describieron los estadios larvarios de *Solea solea* (Fabre-Domergue y Bietrix, 1905).

En la década de los 60, en Alemania (Flüchter, 1965) y en Inglaterra (Shelbourne, 1967), se iniciaron experiencias con el cultivo del lenguado, obteniéndose puestas de reproductores en cautividad y la obtención de juveniles de *Solea vulgaris* con alimento vivo (nauplius de *Artemia salina* y de *Lumbricillus* sp.). En los setenta, comienza la demanda de los cultivos con alimentación inerte. Así, en Francia, Girin (1974) y Metailler y Girin (1976) introdujeron los piensos secos; en Italia, Brasola (1974) optó por alimentos naturales a partir de moluscos, mientras en Inglaterra, Bromley (1977) experimentó con piensos húmedos.

A pesar del interés llevado a cabo por los investigadores, a desarrollar ensayos en el cultivo del lenguado, *Solea vulgaris*, tanto de forma intensiva (Morinière, 1983; Caceras-Martínez, 1984) como extensiva (Lasserre y Lasserre, 1978), esta especie es muy exigente con las condiciones del medio y, en consecuencia, los resultados obtenidos a lo largo de todos estos años no han sido satisfactorios (Williot y Liange, 1983a). Por el contrario, un Pleuronectiforme como el rodaballo, *Scophthalmus maximus* que puebla los mares más fríos, presenta unos potenciales muy interesantes para la acuicultura (Kerr, 1976; Person Le-Ruyet *et al.*, 1981; Willot y Liange, 1983b). En Gran Bretaña, las primeras granjas de crecimiento del rodaballo datan de finales de los años 70 (Kerr, 1976). En Francia, los cultivos iniciados al principio de los años 70, culminaron en 1982 con la puesta a punto de una técnica de cultivo y de un alimento granulado para los juveniles en fase de crecimiento (en Fehri-Bedoi, 1997). La flexibilidad del rodaballo frente a ciertos factores del medio como temperatura y salinidad (Willot y Liange, 1983b) indujeron a su cultivo en los países mediterráneos.

En países orientales como Japón, los ensayos de cultivo de Pleuronectiformes son relativamente recientes, ya que estos peces planos no se adaptan al cultivo en jaulas flotantes y exigen la disponibilidad de grandes espacios sobre terrenos muy arenosos. Estos contratiempos explican la introducción tardía, en Japón a partir de 1975, de especies como *Limanda yokohame* y *Paralichthys olivaceus* (Ikenoue y Kafuku, 1992). Esta decisión fue tomada por los acuicultores debido a la sobreexplotación de la producción de la dorada roja y de la seriola, así como a la explotación total de otras áreas costeras. En Japón, la producción de los peces planos ascendió, a principios de los no-

venta a 4283 toneladas, adquiriendo un valor en el mercado de 11453 millones de *yen* (Ikenoue y Kafuku, 1992).

Las referencias bibliográficas más antiguas relacionadas con el cultivo de *Solea senegalensis* proceden del Atlántico (Lagardère, 1979) y tratan de estudios sobre el desarrollo larvario, a partir de huevos recolectados en la región de Charente Maritime y de la obtención de juveniles a partir de larvas recolectadas en la región de Perthuis Charentais.

En el Mediterráneo occidental y por primera vez en España, se recolectaron con redes de plancton huevos pelágicos de *S. senegalensis* (Rodríguez y Rodríguez, 1980). Para conseguir la reproducción de esta especie en cautividad, la inducción de la puesta con tratamientos hormonales y la obtención de larvas no fueron viables. En la mayoría de los casos las hembras no ovulaban o la calidad de los huevos era muy baja, consiguiéndose, sin embargo, puestas espontáneas de reproductores de lenguado senegalés estabulados durante dos años en cautividad en el ICMAN-CSIC (Rodríguez y Pascual 1982; Rodríguez, 1984). En Portugal, la duración del período de freza durante los años 1996 y 1997 fue de 4 y 6 meses, respectivamente, según datos de la Unidad de Ciencias y Recursos Acuáticos de la Universidad de Algarve (Dinis *et al.*, 1999).

En Portugal en 1986, se consiguieron juveniles de *Solea senegalensis*, aunque las pruebas de “destete” y, por tanto, su crecimiento fue deficiente (Dinis, 1986). En la actualidad, en España y en Portugal, se empiezan a obtener resultados satisfactorios durante el “destete” del lenguado senegalés con piensos artificiales (Pascual y Dinis, comunicación personal), aunque el cuello de botella sigue siendo su reproducción durante todo el año y, por tanto, la posibilidad de disponer de larvas de lenguado en cualquier época del año, como sucede con otras especies, como la dorada.

FAMILIA Soleidae

Los Soléidos se caracterizan por poseer un hocico redondo y carnoso, su pequeña boca es arqueada y se abre hacia abajo, sin dientes palatinos; la mandíbula superior está más desarrollada que la inferior. Los ojos son muy pequeños y próximos y se sitúan en el flanco derecho; los huesos del opérculo no se aprecian a través de la piel y tampoco es visible el borde del preopérculo, ya que está cubierto por la misma piel. La aleta y pedúnculo caudal están poco desarrollados y pueden tener una o dos aletas pectorales, no faltando nunca la del lado derecho. La línea lateral es evidente a ambos lados del pez. Su cuerpo es oval y alargado, la cabeza redondeada y poco saliente. Las escamas del tronco continúan por la cabeza. En este suborden se incluye la familia de los Soleidos, que comprende unos treinta géneros, todos ellos dextrógiros (Zwischler, 1978).

El género *Solea* posee (Chabanaud, 1927) un tubo nasal anterior al flanco ciego no dilatado. Existe una prolongación supratemporal de la línea lateral en el flanco ocular, las dos aletas pectorales presentes tienen al menos siete radios; el primero simple y los restantes bifidos.

TAXONOMÍA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE *Solea senegalensis*

Desde Bauchot y Pras (1980), *Solea senegalensis* (Kaup, 1858), responde a la siguiente sistemática:

Tipo: Vertebrata

Subtipo: Gnathosmata

Superclase: Pisces

Clase: Osteichthyes

Orden: Heterosomata (Pleuronectiformes)

Suborden: Soleoidei

Familia: Soleidae

Subfamilia: Soleinae

Género: *Solea*

Especie: *senegalensis*

La especie *Solea senegalensis*, a menudo confundida con *Solea vulgaris* en el Atlántico y con las especies *S. vulgaris* y *S. aegyptiaca* en el Mediterráneo, recupera su identidad con los trabajos de Chabanaud (1927) en el Atlántico y posteriormente con los trabajos de Ekman (1953), Torchio (1953), Dollfus (1955), Albuquerque (1956), Bauchot *et al.* (1957), Lozano Rey (1960), Nielson (1963), Lagardère (1979), Lagardère *et al.* (1979), Dinis (1986) y Ben-Tuvia (1990). Su presencia en el Mediterráneo está limitada a la costa occidental (Rodríguez y Rodríguez, 1980; Goucha y Ktari, 1981; Ramos, 1982; Molinero-Egea, 1986; Ben-Tuvia, 1990), aunque la presencia de la especie en estas áreas puede haber sido establecida con bastante anterioridad, ya que Maluquer (1917) menciona tres ejemplares de *Solea melanochira* depositados en el Museo de Ciencias Naturales de Barcelona, capturados en Vinaroz (Castellón), Blanes (Gerona) y Palma de Mallorca, siendo la referencia del nombre específico bastante confusa, puesto que un ejemplar es mencionado como *S. melanochira* Psp., y dos como *S. melanochira* Bp., sin más referencia bibliográfica, con lo que no es posible asegurar si realmente se trata de ejemplares de *Solea senegalensis* Kaup (= *Solea melanochira*, Moreau).

La distribución geográfica de *Solea senegalensis* se limita a la costa Oeste africana y a la costa europea del Atlántico y Mediterráneo Occidental (Figura 2). En el Atlántico, se extiende desde Senegal hasta la región de Perthuis Charantais (Cadenat, 1951; Furnestin, 1958; Cervignon, 1960; Fowler, 1963; Aboussouan, 1972; Dinis, 1986; Ben-Tuvia, 1990); en el Mediterráneo, se ha descrito en el sur de España (Rodríguez y Rodríguez, 1980; Molinero-Egea, 1986) y al Norte de Túnez (Goucha, 1982; Goucha *et al.*, 1987; Ben-Tuvia, 1990).

El problema que plantea la distribución geográfica de esta especie (*Solea senegalensis*) no es sino un reflejo de lo que ocurre con la mayoría de los Soleidos. Salvo la especie tipo, *Solea vulgaris* (Quensel, 1806) o *Solea solea* (Linneo, 1758) de la que se conocen diversos aspectos de su biología con detalle, las demás especies del género *Solea* presentan grandes lagunas, en mayor o menor grado, en cuanto al conocimiento de datos básicos de su biología, taxonomía y biogeografía.

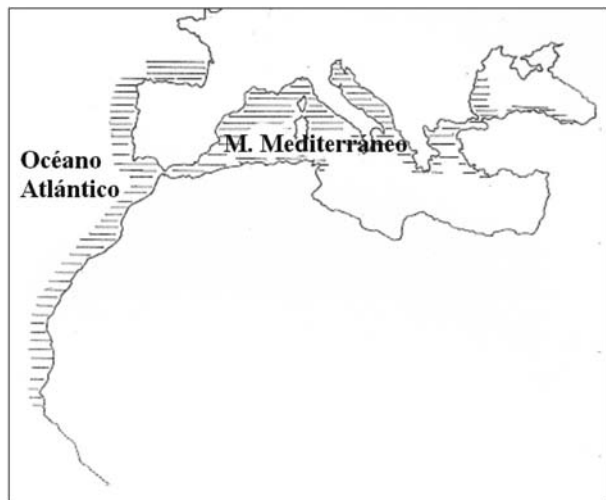


Figura 2.—Distribución de *S. senegalensis* en el Mediterráneo y en el Atlántico Este.

BIOLOGÍA DE *Solea senegalensis*

El conocimiento de la biología de *Solea senegalensis* se reducía hasta hace poco tiempo, a la descripción morfológica de la especie y a la existencia de algunos datos sobre su abundancia, distribución, y reproducción (Rodríguez, 1984). Sin embargo, actualmente, debido a su gran interés económico-comercial, el lenguado senegalés está siendo estudiado desde varios puntos de vista: reproducción y cultivo (Rodríguez y Pascual, 1982; Dinis, 1986 y 1992; Parra, 1998; Dinis *et al.*, 1999), morfología e histoquímica de la ovogénesis de huevos y de larvas (Gutiérrez *et al.*, 1985; Dinis, 1986; Sarasquete *et al.*, 1993 a y b; Engrola, 1998), alimentación (Vázquez *et al.*, 1994; Parra, 1998), patología (Sarasquete *et al.*, 1993b; Zorrilla *et al.*, 1999) e histofisiología del desarrollo larvario (Sarasquete *et al.*, 1993c y 1996; Ribeiro *et al.*, 1999; Gavaia *et al.*, 2002). Asimismo, se ha realizado el aislamiento, purificación, clonaje y distribución de diferentes hormonas hipofisarias y se han estudiado aspectos cerebrales y neuroendocrinos que controlan la reproducción de *Solea senegalensis* (Pendón *et al.*, 1994 a y b, Rendón *et al.*, 1997; Rodríguez-Gómez, 1999). Recientemente, se ha publicado una interesante revisión sobre los sistemas de cultivo, reproducción, desarrollo larvario, crecimiento y patologías de *Solea solea* y *Solea senegalensis* (Imsland *et al.*, 2003) y se ha descrito la reproducción del lenguado senegalés en cautividad, bajo regímenes naturales de temperatura, así como las tasas de eclosión y fecundidad (Anguis y Cañavate, 2005). En la actualidad se está realizando en el CSIC (ICMAN y IATS) proyectos de investigación (MEC, PN-2004) con el objetivo de controlar la reproducción de esta especie en cautividad, efectuándose el seguimiento de la ovogénesis y espermatogénesis, desde el punto de vista histológico y hormonal, así como inducción a la puesta bajo control de temperatura, fotoperíodo y tratamientos hormonales.

El lenguado senegalés, *Solea senegalensis* es un teleósteo con sexos separados, sin caracteres sexuales externos diferenciales, madurando por primera vez entre el tercer y cuarto año de vida (25-30 cm de longitud). El índice de fecundidad de la hembra, en la

naturaleza, alcanza el millón de óvulos por kilogramo. La época de puesta se sitúa entre marzo/abril, pudiendo extenderse hasta el mes de junio (Dinis, comunicación personal). Los huevos miden entre 0,9 y 1,5 mm, son pelágicos y la temperatura del agua del mar durante la época de puesta suele ser superior a 16 °C (Engrola, 1998; Dinis *et al.*, 1999). La larva pelágica y simétrica, durante los dos primeros meses, mide en el momento de la eclosión entre 2,5 y 3,1 mm. Las larvas en la naturaleza (10-15 m de profundidad) son arrastradas por las corrientes hacia la costa, realizan la metamorfosis (se vuelven disimétricas) y descienden hasta el fondo. Los lenguados cultivados miden $16,6 \pm 2,1$ cm y pesan $40,3 \pm 2,5$ g, un año después de la eclosión (Engrola, 1998; Dinis *et al.*, 1999). Son animales de hábitos básicamente nocturnos, predadores bentónicos (anélidos, moluscos) viven enterrados en la arena durante el día, y su ritmo de crecimiento es regular; 300 g y 30 cm, al tercer año, alcanzando una talla máxima de 60 cm y de 800 g de peso (Arias y Drake, 1990).

La especie *Solea senegalensis* se caracteriza por tener el tubo nasal anterior del lado ciego alejado del borde cefálico; la aleta pectoral derecha redondeada y subsimétrica con una membrana interrredial negra, el último radio de las aletas dorsal y anal está unido al pedúnculo caudal por una membrana, la aleta dorsal se inicia por delante del ojo dorsal. La coloración de fondo del lado ocular es variable, adaptándose miméticamente al entorno predominante en el sustrato; normalmente varía de un marrón verdoso oscuro a un marrón rojizo claro, casi anaranjado; presenta ocelos de color azul de tamaño variable, dispuestos en filas longitudinales, a veces no muy claros, que desaparecen rápidamente con la muerte del animal; manchas marrón oscuro dispuestas en la línea media del cuerpo, de tamaño mediano, y otras más pequeñas en filas transversales; los ojos son de color verde metálico en vivo (Rodríguez, 1984).

MORFOESTRUCTURA E HISTOQUÍMICA COMPARADA DE ÓRGANOS Y TEJIDOS DE TELEÓSTEOS

La morfoestructura de los órganos/tejidos de los peces es bastante semejante a la de vertebrados superiores, con las características específicas diferenciales derivadas de su naturaleza acuática.

Tegumento

El tegumento de los peces cubre todo el cuerpo e incluye la piel, las escamas y las aletas. Sin embargo, hay grandes diferencias interespecíficas, ya que algunas especies no poseen escamas visibles, como las anguilas; otras poseen numerosas células *club* (en clava) en su epidermis y otras especies sólo presentan células caliciformes/mucosas. Hay también numerosas variaciones incluso en las diferentes partes de un mismo pez; en los salmónidos por ejemplo, el espesor de la piel varía en las diferentes regiones del cuerpo, siendo la superficie más amplia la de la cabeza y aletas que carecen de escamas (Anderson y Mitchum, 1977; Grizzel y Rogers, 1976; Ferguson, 1995). Además, la edad y el sexo ejercen una gran influencia sobre los diferentes componentes de la piel (Ferguson, 1995).

La epidermis de teleósteos está formada, en general, por un epitelio escamoso no queratinizado que tiene un espesor de 3-4 hasta 20 células. La mayoría de los teleósteos, en la epidermis, contienen filamentos o células de Malpigi, células mucosas o caliciformes, células *club* eosinófilas, células granulares eosinófilas (función desconocida), leucocitos y macrófagos (pueden contener melanina). También pueden existir estructuras especializadas en la epidermis que incluyen papilas gustativas y neuromastos. La capa contigua a la epidermis es la dermis que comprende un estrato esponjoso superior y un estrato compacto inferior. En esta capa y a diferentes niveles puede presentar una gran variedad de tipos de células pigmentarias, distinguiéndose melanóforos, xantóforos, e iridóforos. Estos últimos contienen brillantes placas de guanina que le dan una apariencia plateada cuando se orientan en un ángulo de noventa grados bajo la luz. Asimismo, las escamas son las figuras más representativas del tegumento de la mayoría de los teleósteos y son muy importantes cuando están presentes. Se originan en la dermis en forma de bolsillo y se van envolviendo por una capa de la epidermis cuando emergen. De esta manera, la pérdida de las escamas puede generar una brecha importante en la defensa osmótica del pez. Las escamas contienen en el área externa una parte ósea reticulada con crestas similares a dientes, y en la interna una capa fibrilar que está descalcificada en algunas especies y parcialmente calcificada en otras. Las escamas parcialmente calcificadas están formadas por fibras de colágeno paralelas e inmersas en una matriz orgánica. Las escamas representan una importante fuente de calcio y durante los períodos de inanición y prefreza, el calcio es reabsorbido antes que las reservas esqueléticas (Roberts, 1981; Hibiya, 1982; Ferguson, 1995).

La piel de los teleósteos actúa como una barrera protectora frente a los microorganismos patógenos; es capaz de resistir los daños de las abrasiones o *shocks* y actúa como una superficie mediadora (respiración y osmorregulación) en el intercambio de gases, agua, iones y otras moléculas. También se caracteriza por tener funciones secretoras (cutícula y mucoides) y sensoriales (químico y neurosensorial) (Leonard y Summers, 1976). Las escamas añaden protección y rigidez estructural al tegumento y las aletas contribuyen a una función de orientación espacial, estabilización y propulsión.

Sistema branquial

Las branquias de los peces son un órgano multifuncional implicado no sólo en la respiración, sino también en una gran variedad de funciones homeostáticas, tales como la osmorregulación, el metabolismo hormonal, la excreción de productos residuales nitrogenados, la regulación del intercambio de sales y agua y el balance ácido-base (Evans, 1987; Olson, 1991; Ferguson, 1995; Perry 1997).

La superficie del epitelio de las branquias es comparable en extensión a la superficie total de la piel, e incluso mayor en algunas especies. La superficie respiratoria está recubierta por un delgado epitelio que permite el intercambio de gases, el cual, a su vez, le hace especialmente sensible a la invasión de gérmenes patógenos; de hecho la más mínima lesión estructural de las branquias puede hacer muy vulnerable al pez (Olson, 1996).

Generalmente, los peces teleósteos poseen cuatro o cinco pares de arcos branquiales; frente a estos arcos se forman dos hileras de líneas, las cuales se encuentran unidas a cada base por un septo branquial; estas líneas son las lamelas primarias o filamentos branquiales –unidad principal de las branquias– y en cada una de ellas se encuentran las

lamelas secundarias donde se realiza el intercambio de gases respiratorios por difusión. Cada lamela primaria posee un cartílago central y alrededor de éste se encuentra el tejido conectivo que contiene vasos sanguíneos aferentes y eferentes (Hibiya, 1982).

En la superficie branquial, se han descrito al menos, dos tipos generales de epitelios: uno sobre el cuerpo del filamento y el otro sobre las lamelas (Laurent y Dunel, 1980; Laurent, 1984). Tres tipos de células prevalecen, principalmente, sobre el epitelio branquial: células pavimentosas, células cloruro (ionocitos o células ricas en mitocondrias) y células mucosas o caliciformes. Otras células menos frecuentes en el epitelio branquial son: células piriformes, células del gusto y células de Merkel (Hibiya, 1982; Amin *et al.*, 1994; Ferguson, 1995).

Las lamelas secundarias están formadas por una red de capilares soportadas por células pilares. Su superficie está cubierta por células epiteliales escamosas simples o pavimentosas soportadas por una delgada membrana basal; estas células están muy diferenciadas ya que poseen un aparato de Golgi bien desarrollado, un abundante retículo endoplasmático liso y vesículas de varios tamaños que indican una actividad metabólica intensa. De hecho, hay que tener en cuenta que la función específica del epitelio branquial se caracteriza, principalmente, por la posibilidad de presentar una alta permeabilidad a los gases y una relativamente menor permeabilidad a los iones (Laurent y Dunel, 1980). Asimismo, el “mucus” de las lamelas secundarias es producido por células mucosas que varían en número dependiendo, entre otros factores, de las condiciones medio-ambientales.

Al encontrarse las branquias en contacto directo con el medio externo suelen ser muy susceptibles y pueden verse afectadas fácilmente por factores ambientales adversos, como una mala calidad del agua, o por la presencia de sustancias tóxicas, etc. Si las branquias se encuentran dañadas es muy fácil que se produzcan infecciones bacterianas, parasitarias o fúngicas. Por ello, una rápida detección de los cambios y daños producidos en las branquias, es de vital importancia para un buen desarrollo y mantenimiento de la homeostasis del pez. Para la detección de estas alteraciones, la mayoría de los autores las han dividido en dos grupos: a) el primer grupo de lesiones incluye las necrosis y la ruptura del epitelio branquial; estas lesiones se reflejan como un efecto deletéreo directo de los tóxicos (Temminck *et al.*, 1983) y b) el segundo grupo de alteraciones branquiales refleja una acción tóxica directa, que se manifiestan con una respuesta defensiva del pez (Morgan y Tovell, 1973). Por ejemplo, la hipersecreción mucosa ayuda a impedir la entrada del tóxico, y la proliferación de células cloruro parece reflejar un papel en la extorsión o neutralización del tóxico (Karnaky, 1980; Crespo *et al.*, 1981; Oronsoaye y Brafield, 1984; Mallatt, 1985; Haaparanta *et al.*, 1997).

Tracto digestivo

La estructura del sistema digestivo de los teleósteos adultos está bien documentada en la literatura (Kapoor *et al.*, 1975; Fänge y Grove, 1979; Elbal y Agulleiro, 1986a y b; MacDonald, 1987; Morrison, 1987; Willians y Nickol, 1989; Grau *et al.*, 1992; Arellano, 1995; Domeneghini *et al.*, 1998; Arellano *et al.*, 2000; 2001 a y b; 2002), existiendo también numerosos trabajos relacionados con la histofisiología del tracto digestivo durante el desarrollo larvario de peces (Govoni *et al.*, 1986; Segner *et al.*, 1994; Sarasquete *et al.*,

1993c, 1995 y 1996; Bisbal y Beugtsen, 1995; Calzada, 1996; Morrison *et al.*, 1997; Navarro y Sarasquete, 1998; Ribeiro *et al.*, 1999; Gisbert *et al.*, 1998 y 1999).

El tracto digestivo gastrointestinal de los teleósteos es histológicamente simple, probablemente porque es fácil proporcionar un vehículo acuoso para los productos de la digestión y también porque, en algunas especies, la proporción de alimentos de la digestión puede ser baja, necesitando menos glándulas digestivas complejas y una porción muscular menos desarrollada que la que presentan los vertebrados superiores.

En los teleósteos, la cavidad oral y la faringe están alineadas por un delgado epitelio escamoso estratificado que contiene abundantes células muco-secretoras. La mayoría de las especies tienen dientes, los cuales varían en la forma. Algunas especies tienen dientes isodontes (forma similar), mientras que en otras especies los dientes son heterodontes (diferente forma). Los dientes consisten en una capa de esmalte, una capa de dentina y un centro de pulpa. El esófago de los teleósteos se caracteriza por una corta y delgada pared; su epitelio suele ser cúbico o columnar; puede tener cilios y contiene numerosas células caliciformes y ocasionalmente papilas gustativas (Amin *et al.*, 1994; Ferguson, 1995; Arellano *et al.*, 2001b).

El estómago presenta una forma muy variable dependiendo de la especie y generalmente está poco desarrollado (ausencia de glándulas gástricas) en el 15% de las especies (ejemplo ciprínidos) y en la mayoría de las larvas hasta la metamorfosis, donde se hace funcional. En las especies que disponen de estómago, la mucosa gástrica contiene glándulas gástricas en las regiones del fundus y del píloro. La submucosa, en algunas especies, contiene gran cantidad de gránulos eosinófilos, además de linfocitos, capilares sanguíneos y fibras nerviosas (Groman, 1982; Amin *et al.*, 1994; Ferguson, 1995; Sarasquete *et al.*, 1995; Ribeiro *et al.*, 1999).

Como en mamíferos, los teleósteos carnívoros poseen un intestino más corto que los herbívoros, y es en los herbívoros donde puede existir una posible área designada para la digestión microbiana (Rimmer y Wiebe, 1987). Muchas especies contienen ciegos pilóricos, y/o divertículos ciegos con un epitelio de tipo intestinal muy plegado, localizados en la parte final del estómago o intestino anterior. Algunas especies de teleósteos presentan pliegues longitudinales en la mucosa, los cuales permiten un mayor aumento de la superficie digestiva y ayudan a la rotura y mezclado del alimento con los jugos enzimáticos secretados, y con el “mucus” producido por las células caliciformes, cuya principal función es de protección y formación del quilo. Al no existir glándulas intestinales, las enzimas proceden del páncreas e hígado, cuyos conductos desembocan a nivel del intestino anterior. De aquí parten los ciegos pilóricos que al presentar microvellosidades apicales, secretan mucosustancias neutras y presentan actividades fosfatásicas. Su epitelio también participa, como el intestinal, en procesos de absorción y transporte de macromoléculas a través de las membranas (Bergot *et al.*, 1975; Grau, 1992). La mucosa intestinal está formada por un epitelio columnar simple y sus células se caracterizan por poseer “microvilli” y en algunas especies pueden existir cilios. Por otra parte, los linfocitos y las células piriformes son frecuentes en la mucosa intestinal. La lámina propia y la submucosa, en la mayoría de las especies, contienen numerosos eosinófilos granulares y tejido linfoide (Welsch y Storch, 1976; Amin *et al.*, 1994; Ferguson, 1995).