

PRÓLOGO

Los lenguados (*S.solea* y *S. senegalensis*) han sido objeto de estudio para su utilización en acuicultura desde finales del siglo XIX. Este dilatado interés se justifica desde diversos puntos de vista: comercialmente, su elevada valoración gastronómica en los diversos mercados europeos los coloca en cabeza de las especies candidatas a una posible producción industrial, y desde el punto de vista tecnológico, se presentan como posible alternativa al cultivo de dorada en instalaciones en tierra permitiendo diversificar la actual oferta de especies.

A pesar del importante volumen de investigación centrada en los lenguados, aún hoy siguen sin incorporarse realmente al sector productivo debido a una serie de problemas que podrían resumirse en dos grandes áreas, su alimentación y su reproducción.

En referencia a su reproducción, en el momento en que se realizan las experiencias de la presente tesis, la reproducción de los Soleidos no se controla de una forma completa en cautividad. De hecho, aún hoy, la deficiente disponibilidad de alevines, en cantidad, calidad y regularidad, dificulta la investigación, ya que resulta difícil conseguir una cierta repetibilidad en los resultados.

En lo que respecta a la alimentación, siguen existiendo problemas para conseguir piensos razonablemente eficientes y a un precio asequible. El problema se centra en los especiales hábitos alimentarios de estas especies (nocturnos y basados principalmente en la quimiorrecepción) que plantean unas exigencias difíciles de satisfacer. Esta dificultad se prolonga durante toda la vida del pez, pero se hace más patente en las fases larvarias, precisamente en el momento en que se realiza la transición de presa viva a alimento inerte, fase denominada de destete. Este período crítico del ciclo vital de los lenguados representa un importante cuello de botella para el desarrollo del cultivo.

En la bibliografía, los problemas de palatabilidad de los piensos se resuelven mediante la incorporación de sustancias que mejoran las características organolépticas de los mismos, básicamente betaína y aminoácidos. Por una parte, la adición de estos productos eleva

considerablemente el precio de los piensos. Por otra parte, dichas sustancias no aportan una solución completa al problema, ya que su inclusión no garantiza tasas de crecimientos y supervivencia realmente interesantes. Por ambos motivos se puede considerar que el cultivo comercial del lenguado es, aún hoy por hoy, poco rentable para el productor.

En otros sectores de producción zootécnica también existen frecuentes problemas de palatabilidad en las primeras edades o en situaciones conflictivas (piensos medicados, estrés). Estos problemas se han resuelto con la incorporación a los piensos de aromas comerciales, cuya aplicación inicial era la industria de alimentación humana. Esta es una solución de coste asequible y con enormes posibilidades de satisfacción de los requerimientos organolépticos más exigentes.

Siguiendo la evolución que se ha producido en esas otras formas de producción ganadera, resulta de gran interés el estudio de la utilización de estos aromas comerciales para intentar conseguir piensos para peces que sean económicamente asequibles y capaces de ofrecer buenos resultados en crecimiento y mortalidad. Ello permitiría que estas especies, tan esperadas por el sector productivo, pudiesen incorporarse a una producción comercial con un grado aceptable de rentabilidad.

Generalizando al sector de la acuicultura, la introducción de aromas comerciales a los piensos actuales podría favorecer también a otras especies por diversas vías. Por una parte sería posible mejorar los niveles de ingesta, consiguiendo optimizar los objetivos de producción y rentabilidad a través de una mayor tasa de crecimiento, un menor ICA y una reducción en la descarga de sólidos por parte de las piscifactorías. Por otra parte, la incorporación a los piensos de aromas verdaderamente eficientes podría permitir incrementar el uso de materias primas con sabores desagradables o desconocidos para los peces, lo cual sería de gran interés en caso de que se reduzca la actual disponibilidad de harina de pescado, principal ingrediente de los piensos actuales.

La tesis se estructura en tres capítulos. En el primero de ellos se realiza una revisión bibliográfica sobre el lenguado, como sujeto de investigación, producción y consumo, así como de la conducta alimentaria de los peces, las sustancias y los factores que influyen en ella. Al final de este Capítulo se desarrollan los objetivos de la presente tesis y se incluye

una explicación más detallada de la Estructura de la misma. En el Capítulo 2 se estudian los cambios en la conducta alimentaria de los lenguados frente a diversas presentaciones de pienso que tienen diferentes características organolépticas. Para evaluar la influencia del aroma en el crecimiento, la supervivencia y la dispersión de tallas se desarrollan diversas experiencias que se describen y discuten en el Capítulo 3. Finalmente, se elabora una Conclusión general de la tesis teniendo en cuenta el conjunto de resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

1.1. Situación actual del cultivo de lenguado en la investigación, la producción y el mercado.....	7
1.2. Conducta alimentaria en peces.....	16
1.2.1. Desencadenamiento de la conducta alimentaria.....	17
1.2.2. Mecanismos de detección del alimento...	18
1.2.3. Quimiorrecepción.....	20
1.3. Estrategia alimentaria del lenguado en el medio natural	22
1.3.1. Perfil trófico del lenguado en el medio natural.....	22
1.3.2. Equipamiento sensorial.....	26
1.3.3. Ritmos de actividad alimentaria.....	29
1.4. Estímulos químicos en peces.....	32
1.4.1. Tipos de estímulos químicos en peces....	32
1.4.2. Clasificación de los estímulos químicos según su papel en la conducta alimentaria.....	38
1.4.3. Aplicación en cultivo de lenguados.....	39
1.5. Aromas comerciales: concepto y aplicaciones.....	42
1.5.1. Definición de aroma. Generalidades.....	43
1.5.2. Utilidades.....	46
1.5.3. Metodología para el desarrollo de una aplicación.....	48
1.5.4. Clasificación de los aromas según la legislación vigente.....	49

1.6. Objetivos de la tesis.....	53
1.7. Estructura de la tesis.....	55

1.1. Situación actual del cultivo de lenguado en la investigación, la producción y el mercado

Los lenguados pertenecen a la familia de los Soleidos, en el orden de los Pleuronectiformes (Fig.1.1.) que constituye un grupo de peces altamente especializados, popularmente denominados "peces planos" debido a la morfología que les es común. Existen diversas especies de esta familia que se encuentran bien representadas en el Mediterráneo y con frecuencia son sujeto de una elevada valoración comercial. Las más importantes son el lenguado (denominado *Solea solea* Linneo, 1758, o *Solea vulgaris* Quensel, 1806, según los autores) y el lenguado senegalés (*Solea senegalensis* Kaup, 1858), sobre los cuales tratará la presente tesis.

Tal como detalla RAMOS (1979) la denominación taxonómica del lenguado ha sufrido diversos cambios desde su primera descripción por Linneo en 1758, que le adjudicó el nombre latino de *Pleuronectes solea* L. Quensel fue el primero en utilizar la denominación genérica *Solea*, que se ha seguido empleando hasta la actualidad, pero modificó la nomenclatura de especie denominándola *Solea vulgaris*. JORDAN & GOSS (1889, citados en RAMOS 1979) fueron los que comenzaron a referirse a la especie con la denominación de *Solea solea*. Desde entonces, *Solea vulgaris* Q. y *Solea solea* L. han sido utilizadas indistintamente por los diferentes autores para referirse al lenguado común.

-
- SpCl. GNATOSTOMADOS (*Gnathostomata*)
 - Cl. osteictios (*Osteichthyes*)
 - Scl. Actinoptergios (*Actinopterygii*)
 - Icl. Actinopteros (*Actinopteri*)
 - SpDiv. Neoptergios (*Neopterygii*)
 - Div. Halecóstomos (*Halecostomi*)
 - SD. Teleósteos (*Teleostei*)
 - O. Pleuronectiformes (*Pleuronectiformes*)
 - F. citáridos (*Citharidae*)
 - F. escoftálmidos (*Scophthalmidae*)
 - F. bótidos (*Bothidae*)
 - F. pleuronéctidos (*Pleuronectidae*)
 - F. soleidos (*Soleidae*)**
 - F. cinoglósidos (*Cynoglossidae*)

Fig. 1.1. Posición sistemática de la familia Soleidos (SOSTOA, 1990).

En Cataluña, el Delta del Ebro es la zona de mayor abundancia pesquera de peces planos (MOLINERO, 1986) posiblemente debido a los fondos de arena, barro y limo, hábitat característico de los Soleidos mediterráneos. Las especies de Soleidos más frecuentes son, por orden de abundancia, *Solea solea*, *Solea lascaris*, que incluye *S.nasuta* y *S.impar* (BEN-TUVIA, 1990) y *Solea senegalensis*. Todas ellas se encuentran presentes en las mismas áreas, tal como lo evidencia su presencia en las capturas (MOLINERO, 1986).

S.solea y *S.senegalensis* son las más apreciadas comercialmente, sin que haya una diferenciación gastronómica entre ellas mientras que *S.lascaris* no tiene valoración comercial.

La distribución de los Soleidos es amplia. En lo que respecta a *Solea solea* se extiende por todo el Mediterráneo y el Atlántico, desde Escandinavia hasta Senegal. *Solea senegalensis* tiene una distribución más reducida en el Atlántico, ya que por el norte sólo llega hasta el golfo de Vizcaya distribuyéndose hacia el sur igualmente hasta Senegal. Desde la primera referencia de su presencia en el Mar Mediterráneo (RODRÍGUEZ & RODRÍGUEZ, 1984) se considera también ampliamente representada en esta zona.

En lo que respecta a la **investigación**, tanto por su importancia pesquera como por su posible aplicación a la acuicultura, *S.solea* y *S.senegalensis* han sido objeto de abundantes estudios sobre su biología y posibilidades de cultivo.

El lenguado fue una de las primeras especies marinas que, ya a finales del siglo XIX y principios del XX, se consideraron aptas para la piscicultura con fines económicos, juntamente con el rodaballo y la lubina, de acuerdo con la cita de PERSON-LE-RUYET (1986). Parece ser que a pesar de esta consideración, según el mismo autor, el cultivo de lenguado cayó en el olvido hasta finales de los 60 o inicios de los 70, en que la especie recuperó el interés por parte de los investigadores.

A partir de este momento y durante la década de los 70-80, el lenguado, como especie potencial de cultivo, concentró un gran interés convirtiéndose en sujeto de un elevado número de experiencias por parte de diversos grupos de investigadores. Destacó especialmente el grupo del

Dr. Metailler en Francia, en el seno del cual se desarrollaron diversas tesis doctorales sobre la especie (entre otras CADENA-ROA, 1983; MORINIERE, 1983) amén de un gran número de trabajos de investigación (entre otros METAILLER & GIRIN, 1976; GIRIN *et al.* 1977; FUCHS, 1978; FUCHS, 1981/1982a, 1981/1982b; CADENA-ROA *et al.* 1982a, 1982b; METAILLER *et al.* 1983; PERSON-LE-RUYET *et al.* 1983). También se distinguieron por su interés en el lenguado y los peces planos en general los investigadores ingleses aportando importantes resultados en la misma época (COWEY *et al.* 1970; BROMLEY, 1974, 1977; MACKIE & ADRON, 1978; BROMLEY, 1979; MACKIE *et al.* 1980; MACKIE 1982; MACKIE & MITCHELL, 1985; para revisión ver HOWELL 1997).

Pero a finales de la década de los 80 el interés suscitado por la especie se redujo registrándose un cierto abandono de la línea de trabajo, en especial en Francia donde muchos trabajos se orientaron hacia otras especies, principalmente la lubina. En 1986, BARNABÉ definía el cultivo intensivo de lenguado como “poco prometedor”, depositando unas expectativas, un tanto inciertas, en el cultivo semiextensivo y extensivo, como el practicado en las lagunas costeras del Atlántico francés y en el sur de España y Portugal. Esta pérdida de interés podría deberse a que los resultados de la investigación no conseguían resolver suficientemente los problemas relacionados con la alimentación y la reproducción. Según HOWELL (1997), en ese momento y a pesar de los enormes esfuerzos invertidos, no existían técnicas de cultivo para lenguado que fuesen comercialmente viables. Se puede considerar que se habían conseguido piensos capaces de promover un crecimiento relativamente aceptable, pero a un coste económico excesivo, ya que obligatoriamente tenían que incorporar ingredientes caros para mejorar la palatabilidad. Asimismo los stocks arrojaban rendimientos poco interesantes debido a una elevada mortalidad y dispersión de tallas. En lo que respecta a reproducción se seguía dependiendo de las capturas del medio natural para conseguir suficiente número de individuos. Y por último, en relación con la patología, parecía que el lenguado era una especie extremadamente vulnerable a la enfermedad.

En la Península Ibérica se reprodujo la misma corriente de interés por los Soleidos hacia finales de los 70. Desde entonces, la investigación sobre la familia se ha mantenido, con mayor o menor intensidad, hasta la actualidad. Hasta hoy se han presentado en la Península

diversas tesis doctorales que tienen como sujeto diferentes aspectos de la biología del lenguado: RAMOS (1979) que trata básicamente sobre reproducción de *S.solea* además de otros aspectos de la biología de la especie en la costa de Castellón; RODRIGUEZ (1984) que cubre también aspectos biológicos de *Solea senegalensis* en la bahía y el golfo de Cádiz y en la que se empieza a apuntar algún parámetro interesante para la producción; DINIS (1986) trata sobre cuatro Soleidos característicos del estuario del río Tajo en Portugal y presenta también un ensayo para evaluar las posibilidades de cultivo de la especie; MOLINERO (1986) caracteriza las poblaciones de Soleidos en el Delta del Ebro y más recientemente GARCIA-FRANQUESA (1996) realiza un estudio sobre la alimentación natural y composición de *Solea senegalensis* planteando una potencial utilización de los resultados para un posible cultivo de la especie.

Aparte de estas tesis doctorales existe cierta actividad investigadora alrededor de la biología de los lenguados, especialmente centrada en grupos españoles y portugueses (entre otros COSTA & BRUXELAS, 1989; ANDRADE, 1989, 1992; SARASQUETE *et al.* 1993; PENDON *et al.* 1994a, 1994b; VAZQUEZ *et al.* 1994; AMBROSIO & FLOS, 2000; NARCISO *et al.* 2000).

En lo que respecta a la investigación orientada hacia un posible cultivo del lenguado, siguen apareciendo en la bibliografía trabajos con resultados más o menos interesantes de experiencias de cultivo en diversas condiciones. Ratificando las consideraciones realizadas por BARNABÉ (1989) la mayoría de trabajos sobre la especie localizados en la Península siguen siendo en condiciones de extensivo o semiextensivo. Sobre este tema FLOS *et al.* (1997) realizan una revisión sobre los diferentes tipos de cultivo, sus ventajas e inconvenientes y necesidades de optimización.

Tal como se ha apuntado anteriormente RODRIGUEZ (1984) en su tesis doctoral describe un cultivo extensivo de lenguado senegalés con fines comerciales en la zona del litoral gaditano, en policultivo con otras nueve especies, siendo la productividad de lenguado inferior a la del resto de especies. De forma contradictoria, en la misma época y región, y en condiciones muy similares, es decir policultivo en condiciones extensivas, DRAKE *et al.* (1984) reportan una tasa de crecimiento para *Solea senegalensis* muy interesante, la cual se sitúa en

segundo lugar después de *Sparus aurata*. Otros resultados de cultivo extensivo en esta zona, llevado a cabo a partir de reclutamiento de alevines y potenciado mediante la implementación de mejoras técnicas en las salinas y optimización de los sistemas de pesca, han permitido incrementar substancialmente la productividad (ARIAS & DRAKE, 1993). En condiciones extensivas similares DINIS (1986, 1992) describe un cultivo de lenguado senegalés en las lagunas litorales portuguesas

Fuera de Península Ibérica pero asimismo en un marco de cultivo extensivo, los investigadores del MAFF en Inglaterra están realizando experiencias en condiciones claramente extensivas (JINADASA *et al.* 1991) o bien utilizando alimentación natural (BAYNES & HOWELL, 1993) después de haber realizado en otras épocas ensayos de cultivo más intensivo.

Existen también antecedentes de cultivo semi-intensivo e intensivo de las dos especies más importantes de lenguado. En diversos trabajos se describen las condiciones de cultivo para su producción, tanto para la fase de larvas y alevines (FUCHS, 1981a, 1981b; DINIS, 1986, 1992; DINIS & REIS, 1995; BRUZON, 1995; ESTEBAN *et al.* 1995; MARIN-MAGAN *et al.* 1995; VAZQUEZ *et al.* 1995; LEAL *et al.* 2000; SYVRET *et al.* 2000) como para el engorde en cultivo intensivo (FLOS *et al.* 1995; ESTEBAN *et al.* 1997) sin que los resultados sean lo suficientemente definitivos como para realizar la transferencia al sector productivo. Un aspecto concreto, la dispersión de tallas común a todas las experiencias, ha sido también sujeto de trabajos específicamente orientados a evaluar e intentar resolver este problema (BARAHONA-FERNANDES, 1990; QUIRÓS & HOWELL, 1993).

Es de destacar que los trabajos de investigación realizados en el sur de España y en Portugal suelen tener como sujeto *Solea senegalensis* en lugar de *Solea solea*, ya que parece adaptarse mejor a las condiciones de la zona. DINIS *et al.* (1999) ha publicado recientemente una interesante revisión sobre el potencial productivo del lenguado senegalés en el sur de la Península.

A pesar de este esfuerzo investigador, en conjunto, la **producción** de Soleidos con fines comerciales se encuentra prácticamente en condiciones experimentales y no ha alcanzado todavía un nivel

industrial. Según datos de la FAO (1998), la producción española de lenguado alcanzó en 1996 las 23 T las cuales, aún constituyendo un porcentaje muy bajo de la producción acuícola anual española, representan el 80% de la producción mundial de lenguado (29 T según fuentes de la FAO en el mismo año 1996). Esta producción se está obteniendo en las instalaciones situadas en la costa atlántica andaluza utilizando sistemas de cultivo extensivo o semiextensivo en los esteros.

En estas mismas explotaciones acuícolas se está llevando a cabo la reproducción del lenguado senegalés, con mayor o menor grado de control del proceso, existiendo en la actualidad una cierta disponibilidad de alevines procedentes de dichas instalaciones. Asimismo el Centro del C.I.C.E.M. El Toruño, perteneciente a la Junta de Andalucía y situado en Cádiz, está obteniendo juveniles de *S.senegalensis* de forma continuada desde 1993.

En referencia a la posición del lenguado en el **mercado** de los productos pesqueros, su excelente apreciación queda fuera de toda duda. En el Mercado Central de Barcelona, en datos de 1999, ocupa la cuarta posición en el ranking de pescado blanco fresco de calidad, superando los 2 millones de kilos anuales.

Actualmente la coyuntura del sector de la acuicultura es muy propicia a la incorporación de nuevas especies de cultivo para seguir manteniendo las especies actuales en un buen nivel de competitividad. Es importante considerar que el incremento de producción que se está evidenciando en el área mediterránea se basa en dos únicas especies, la dorada y la lubina. A pesar del incremento en el consumo de estas especies, consecuencia de una mayor presencia en los mercados y de un precio más asequible, se podría llegar a una cierta saturación de su mercado o a una reducción excesiva de precios, si no se despliegan campañas de promoción específicas.

Además de la mejora de la comercialización de la dorada y la lubina, también será necesaria la diversificación de las especies en cultivo. Entre las diversas candidatas, el lenguado destaca por su buena aceptación en el mercado y por la posibilidad de introducción a las actuales instalaciones marinas en tierra con pocas modificaciones estructurales.

En el marco del proyecto sobre lenguado, desarrollado por el presente grupo de investigación a lo largo de varios años, se ha considerado interesante evaluar la situación, desde el punto de vista comercial, a la que se enfrentaría un potencial lenguado de cultivo (REIG *et al.* 2000). Con este fin se utilizan como base los datos estadísticos publicados por el Mercado Central del Pescado de Barcelona (MERCABARNA) durante el período 1990-1999 en referencia a esta especie. El Mercado Central de Barcelona es el segundo mercado pesquero del país. De acuerdo con la información aportada por la red MERCASA en 1997 se comercializaron en Mercabarna 98.247 t de productos pesqueros, lo cual representa un 19,5% del total comercializado por el conjunto de la red.

En la Fig.1.2. se exponen los suministros de lenguado durante el período 1990-1999 en el Mercado Central de Pescado de Barcelona, y los precios medios anuales expresados en pesetas constantes a enero de 2000.

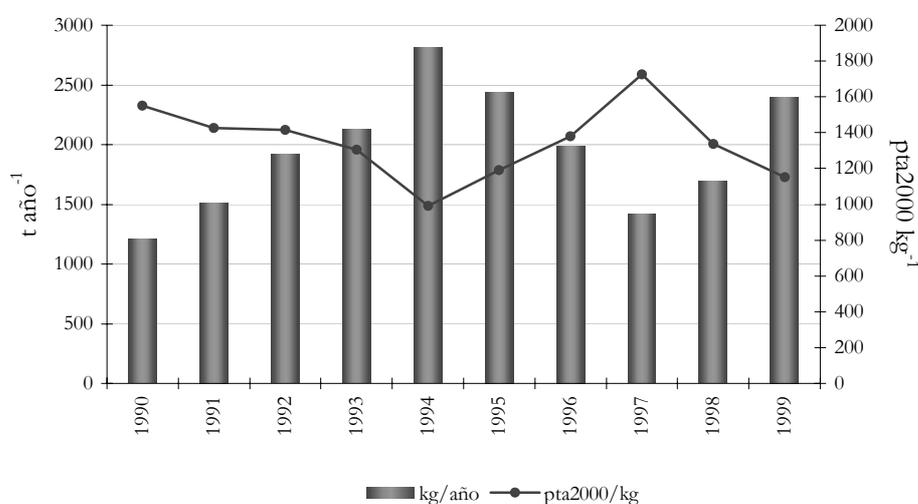


Fig.1.2. Evolución de la oferta y el precio del lenguado en el Mercado Central de Pescado de Barcelona (Mercabarna). El precio se expresa deflactado a pesetas de enero de 2000.

Hasta el año 1988, la práctica totalidad del lenguado consumido en España procedía de las capturas realizadas en el propio litoral, pero a partir de 1989 las importaciones de lenguado procedente de países de la Comunidad Europea, especialmente Holanda y Francia, penetraron de forma importante en los mercados españoles.

Desde el momento en que el lenguado de importación empezó a cobrar importancia en el mercado en Barcelona, el volumen total comercializado aumentó progresiva y significativamente. Entre 1986 y 1994 el volumen de ventas de lenguado (considerando conjuntamente *S.solea* y *S.senegalensis*) se multiplicó por 7, pasando de 396.894 Kg. a 2.810.728 Kg. (Fig.1.2.).

Tal como se observa en la Fig.1.3. este incremento fue debido casi exclusivamente a la importación, ya que, siempre según fuentes de MERCABARNA, el volumen de lenguado de pesca de origen nacional ha ido reduciéndose gradualmente. Respecto a la importación, existen dos orígenes, Francia y Holanda, que condicionan el volumen total de lenguado comercializado en Barcelona, aunque este tipo de producto es considerado de inferior calidad que el lenguado mediterráneo. La importación de Francia ha ido aumentando año tras año, aportando, en 1999, un 40.7% al lenguado total comercializado. Por el contrario, las importaciones de lenguado holandés han sufrido importantes fluctuaciones que, tal como se observa en la Fig. 1.3. son, en gran parte, responsables de las variaciones registradas en el suministro total de la especie.

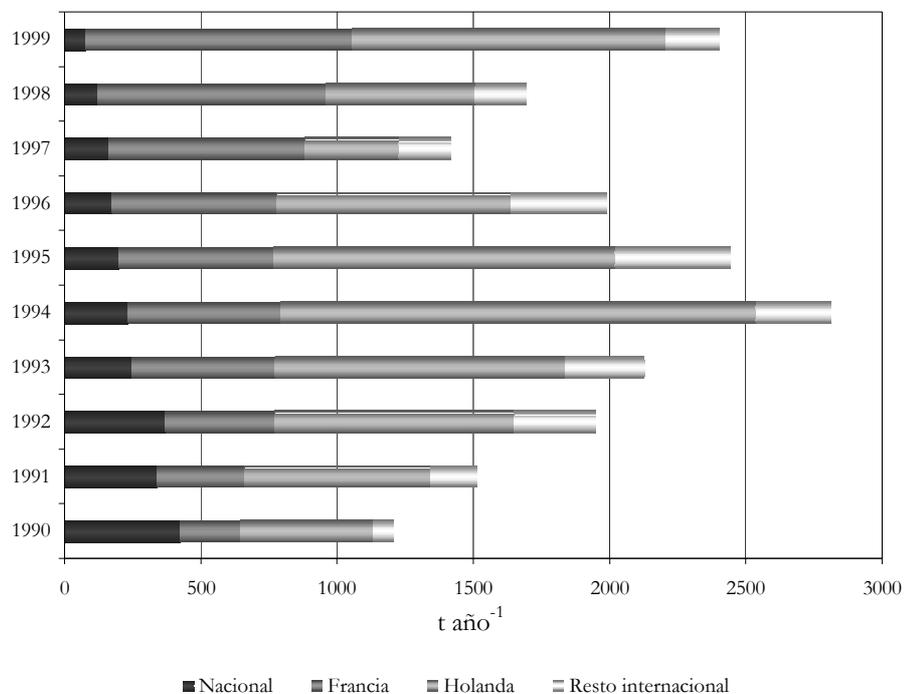


Fig.1.3. Distribución de la oferta de lenguado en MERCABARNA separada por orígenes, en el período 1990-1999.

La expresión gráfica de la evolución de volumen y precio medio anual (Fig.1.2.) permite observar su comportamiento, lo cual debería aumentar la capacidad de predicción del precio del lenguado en relación con los cambios en la oferta. Esta información sería de gran valor para predecir el efecto que un potencial lenguado de cultivo produciría en el mercado. Para ello se construye una curva de demanda del lenguado considerando los volúmenes y precios mensuales durante la pasada década (Fig.1.4.). El ajuste de la curva de demanda muestra en efecto un comportamiento muy predecible ($R^2=0,717$), indicando un buen conocimiento de la especie por parte del consumidor, lo cual se traduce en un hábito de consumo bien establecido.

Reuniendo la información que esta curva arroja y la expresada en la figura 1.3., destaca el hecho de que la variación del precio probablemente no se debe sólo a un cambio en la oferta. Se puede observar como los incrementos más importantes en las ventas de lenguado se deben mayoritariamente a importaciones de Holanda, siendo éste un tipo de producto menos valorado. Por tanto, los precios medios anuales más bajos parecen ser debidos a que el aumento cuantitativo de la oferta está constituido por un producto considerado de menor calidad en razón de su origen.

Al estudiar la estacionalidad del producto no se detectan diferencias en el consumo ni en el comportamiento de los precios a lo largo de los diferentes meses del año. Un elemento significativo para cualquier producto pesquero es el comportamiento de su consumo durante el período navideño. En el caso del lenguado no se advierte una tendencia a incrementar el consumo durante esta especial época del año, lo cual permite pensar que es un producto con una estacionalidad reducida. El hábito de consumo, se podría decir, está sólidamente establecido de una forma regular a lo largo del año. En la Fig. 1.4. se muestran diferenciados los puntos correspondientes a los meses de Diciembre para ilustrar la ausencia de una tendencia determinada a la alza.

Si se compara con otras especies de pescado blanco fresco el lenguado ocupó en 1999 el cuarto lugar en el ranking, después de la merluza, el rape y el salmón, por este orden. El volumen total de lenguado representó en el mismo año el 7,6% del pescado blanco fresco de calidad.

Si se considera el elevado nivel de conocimiento y consumo de la especie, así como su regularidad, todo ello relacionado con una buena apreciación por el consumidor, se podría pensar que, probablemente, el mercado de lenguado podría absorber una importante producción procedente de cultivo sin que el precio resultase excesivamente afectado por ello y sin una necesidad especial de campañas de promoción.

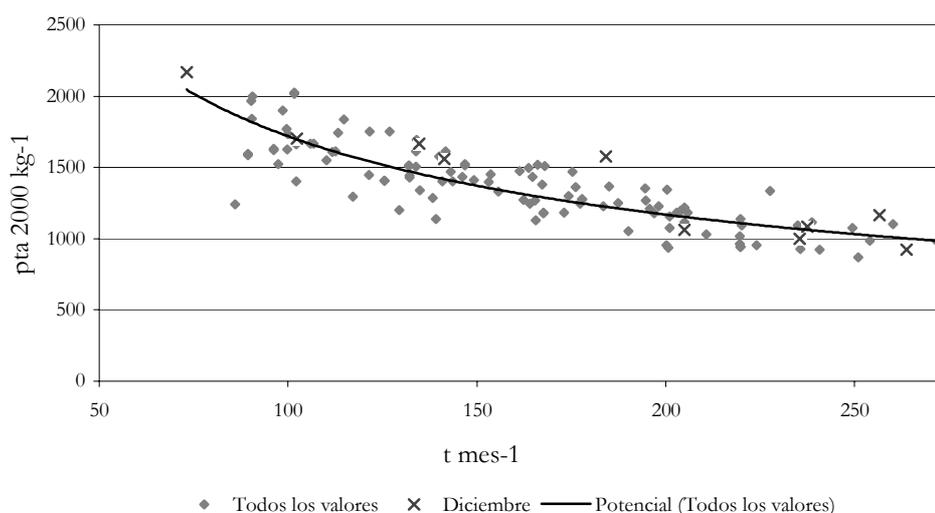


Fig.1.4. Curva de demanda construida con los volúmenes y precios mensuales de lenguado en MERCABARNA desde 1990 hasta 1999. Se representan con un símbolo diferenciado los puntos correspondientes a los meses de diciembre.

1.2. Conducta alimentaria en peces

Cuando el objetivo es estudiar una especie para desarrollar una estrategia de alimentación en cautividad es imprescindible conocer las características de su estrategia alimentaria. La descripción de dicha estrategia incluye el conocimiento de diversos aspectos, a saber, la pauta habitual de conducta frente al alimento, las características morfológicas y el equipamiento sensorial, el perfil trófico y el ritmo de alimentación de la especie.

Puesto que el presente trabajo pretende estudiar la influencia de un producto concreto sobre la conducta alimentaria de una especie en particular, el lenguado, se revisarán más detalladamente los principales factores que desencadenan la conducta de búsqueda de alimento en peces y

una vez iniciada esta conducta, aquellas formas de detección utilizadas por los peces para su adquisición.

En el siguiente apartado (apartado 1.3) se profundizará más en el estudio del conjunto de la estrategia alimentaria en Soleidos, revisando los aspectos relacionados con el equipamiento sensorial de la familia, su perfil trófico y sus ritmos habituales de alimentación.

1.2.1. Desencadenamiento de la conducta alimentaria

Para que se desencadene la conducta alimenticia que garantice una ingesta adecuada, es necesario que exista una motivación suficiente que solamente se genera cuando concurren diversos factores internos y externos.

En condiciones de producción zootécnica tanto el conocimiento como el control de dichos factores son decisivos para conseguir una ingesta prolongada y suficiente. En acuicultura, al igual que en cualquier otra producción, es imprescindible garantizar la ingesta de alimento para satisfacer los objetivos de producción y rentabilidad (menor lixiviación del alimento, incremento del crecimiento y reducción del ICA). Pero además la mejora de la ingesta tiene también una influencia directa en la reducción del impacto ambiental, mediante la minimización de la producción de residuos orgánicos.

Respecto a cuáles son los factores más importantes para desencadenar la ingesta, existen en la bibliografía aproximaciones generalizables a cualquier animal como por ejemplo la presentada por SMITH & RASHOTTE (1978). Estos autores consideran que los factores necesarios para que un animal inicie, mantenga y termine un comportamiento orientado a conseguir alimento, es decir, los *factores estimulantes* de la conducta alimentaria son de dos tipos: (1) *fisiológicos* y (2) *etológicos*.

En el primer grupo y en primer lugar, se incluyen como factores más importantes las estimulaciones aferentes desde los receptores sensoriales hasta la región cerebral y, en segundo lugar, las consecuencias postprandiales, tanto a corto como a medio plazo.

El segundo grupo, el de los factores de comportamiento, incluiría todos aquellos relacionados con la situación y circunstancias que pueden modificar la actitud frente al alimento. Se podrían incluir multitud de factores externos (la densidad de población, la distribución y disponibilidad de las presas, la competencia con individuos conespecíficos, la posible amenaza de depredadores, el aprendizaje, etc.) pero existe un acuerdo general en admitir que las características del alimento constituyen un factor que afecta de forma decisiva la conducta alimentaria.

Cuando el objetivo es alimentar peces en condiciones de cultivo, muchos de los factores externos posibles están bajo control o simplemente no existen, por ejemplo, los depredadores, la necesidad de buscar y capturar presas, la escasez de alimentos de calidad y en cantidad suficiente, etc. Por tanto, la capacidad de ofrecer un alimento atractivo capaz de desencadenar la conducta alimentaria prácticamente en cualquier circunstancia, adquiere una especial trascendencia. Esta justificación ha motivado durante décadas estudios sobre la conducta alimentaria en animales en cautividad.

1.2.2. Mecanismos de detección del alimento

Una vez se despierta la sensación de apetito, el primer paso en la pauta habitual de conducta alimentaria es la localización del alimento. Utilizando la clasificación de SMITH y RASHOTTE (1978), si los estímulos que el animal recibe desde sus receptores sensoriales externos son el primer factor que actúa, parece obvio que el equipamiento sensorial de que disponga dicho animal será determinante para que éste triunfe en la adquisición de alimento. La adecuación de dicho equipamiento a las circunstancias ambientales en las que se va a producir la búsqueda del alimento, condicionará en gran manera la adaptación de la especie a su medio.

De este modo, y puesto que la mayor concentración de fauna íctica se da en la zona iluminada de los mares, parece lógico que la localización del alimento se realice a través de la vista en la mayoría de especies de peces (GERKING, 1994). Pero la utilización de otras estrategias sensoriales para capturar el alimento tiene una trascendencia fundamental en muchas especies, bien por vivir en hábitats poco

iluminados bien por ser de hábitos nocturnos o hallarse en situaciones muy determinadas, por ejemplo cuando las presas a capturar han desarrollado mecanismos crípticos de autoprotección. De acuerdo con ello, parece obvio que en las especies bentónicas y en aquellas cuyo hábitat no presenta una transparencia y/o iluminación importante, la quimiorrecepción sea la forma de detección más importante.

La relación que se establece entre el método prioritario que utilizan los peces para la detección del alimento y el hábitat en el que viven es tan estrecha que podría utilizarse como criterio para una clasificación. Este criterio fue utilizado por DE GROOT (1969, 1971) para clasificar los peces planos, grupo al que pertenece la especie sujeto del presente estudio.

DE GROOT (1969, 1971) establece una clasificación en tres categorías (a) los *que no utilizan la vista* para la detección y captura del alimento, generalmente activos durante la noche, como el lenguado, (b) aquellos que *utilizan mayoritariamente la vista*, por lo general especies de alimentación diurna, como el rodaballo, y (c) los que siendo *especies "visuales" pueden utilizar la quimiorrecepción* para la búsqueda de alimento, como la platija.

Es interesante destacar que esta clasificación, que podría parecer suficientemente discriminante, no lo es tanto en realidad ya que la utilización de los diversos sentidos no es tan excluyente. A través de estudios posteriores se ha comprobado que las estrategias utilizadas por las diferentes especies son mucho más complejas, siendo en realidad bastante adaptables a la situación en la que se encuentra el individuo, lo cual aumenta el número de combinaciones posibles.

Tomemos como ejemplo el trabajo de DE GROOT (1969) que se limita a ciertas especies del Orden de los Pleuronectiformes (*Solea solea*, *Limanda limanda*, *Pleuronectes platessa*, *P.flessus*, *Scophthalmus rhombus* y *S.maximus*): en primer lugar clasifica a las diferentes especies en cada una de las tres categorías definidas más arriba y en segundo lugar, demuestra que cada una de ellas puede utilizar con cierta eficacia sistemas de recepción sensorial que no son aquellos que tiene más desarrollados.

Por ejemplo, en dicho trabajo se demuestra como el lenguado, a pesar de ser una especie claramente quimiorreceptora es capaz de utilizar la visión para detectar la presencia de presas, contrariamente a lo

que era de consenso general hasta ese momento, es decir, que el lenguado no reaccionaba visualmente frente al alimento.

Así pues, se puede afirmar que cada especie tiene una estrategia de recepción dominante que puede utilizar en combinación y simultáneamente con el resto de los sentidos para detectar el alimento con la máxima eficacia.

HARA (1982) establece un modelo básico de detección que explica cómo se combinan los sentidos para consumir la ingesta en el caso de especies mayoritariamente quimiorreceptoras: (1) la conducta alimentaria empieza con un *proceso inicial de arousal o alerta*, mediado por el olfato que reconoce el alimento a distancia, (2) éste va seguido por una *fase de búsqueda o localización*, controlada por diversas actividades sensoriales: quimiorreceptores del olfato, además de vista en ciertas especies y también mecanorreceptores en otras y (3) el proceso culmina cuando se consuma la ingesta de alimento y se establece de forma continua, ésta es la denominada *fase de ingesta* que viene regulada por el gusto.

1.2.3. Quimiorrecepción

Dado que las especies sujeto del presente trabajo de tesis estarían incluidas en el grupo de las que utilizan, mayoritaria que no exclusivamente, la quimiorrecepción, se revisará con mayor profundidad este método de recepción sensorial en peces.

Al igual que el resto de los vertebrados, los peces disponen de dos sistemas de quimiorrecepción bien definidos: el *gusto* y el *olfato*. La recepción de estímulos olfativos en peces fue demostrada científicamente en 1910; igualmente la utilización de un sentido del gusto en peces implicado en la detección de alimento, se estableció en 1912 (PARKER, 1910, 1912, ambos citados en GERKING, 1994). Desde entonces se ha publicado un importante volumen de trabajos relacionados con estos temas, entre los cuales se podrían destacar las revisiones sobre quimiorrecepción en peces desarrolladas por HARA (1982, 1993). Pero a pesar de este volumen de información, la investigación sobre las capacidades sensoriales de los peces se limita a un número discreto de especies, la mayoría de ellas

interesantes para la acuicultura, la pesca deportiva o las pesquerías, que se utilizan como modelo para el resto.

La diferencia entre estos dos sentidos, gusto y olfato, tan evidente en el medio aéreo, es más difícil de comprender en el medio acuático. En animales terrestres, el olfato detecta moléculas volátiles disueltas y transportadas por el aire, y el gusto, moléculas disueltas en un medio líquido o sólido. En organismos acuáticos, olfato y gusto captan estímulos disueltos en el agua aunque para ello utilizan diferentes receptores. A pesar de que las bases celulares y bioquímicas de gusto y olfato muestran características conservativas respecto al resto de los vertebrados (SORENSEN & CAPRIO, 1998) existen algunas diferencias bien evidentes, entre las cuales se podrían destacar las siguientes: (1) la presencia en peces de receptores gustativos distribuidos por toda la superficie del cuerpo, lo cual sería impensable en tetrápodos terrestres cuyas superficies externas están sujetas a una severa abrasión por el medio, (2) el rango de estímulos químicos detectados por los peces, a través de ambos sentidos, es bien diferente y mucho más restringido que el de tetrápodos, considerándose, por ejemplo, que el sistema olfatorio de un pez puede detectar unos cien estimulantes químicos individuales, mientras que existe la hipótesis de que el número de estímulos químicos que los tetrápodos pueden detectar es superior al de los peces en un orden de magnitud (SORENSEN & CAPRIO, 1998) y (3) el umbral de percepción para ciertas sustancias es extremadamente bajo en comparación con el de la mayoría de vertebrados (GERKING, 1994).

En resumen, se puede afirmar que la mayoría de peces disponen de sistemas de quimiorrecepción extremadamente bien desarrollados, que utilizan para diversas funciones de fundamental importancia, como la búsqueda de alimento, el reconocimiento o localización de hábitats preferentes (migración), la detección del peligro o de depredadores y la comunicación intra específica (sexual y no sexual). De hecho, en estudios filogenéticos se detecta de forma muy temprana en los organismos acuáticos la presencia de receptores altamente específicos que permiten la discriminación de mezclas químicas complejas disueltas en el agua (SORENSEN & CAPRIO, 1998). Todo ello se justifica por las especiales características del medio acuático, que contiene de forma ubicuitaria gran cantidad de compuestos liberados por los organismos

acuáticos, los cuales se disuelven con facilidad dadas las especiales características del agua como solvente “universal”.

Las conductas asociadas a la quimiorrecepción en general podrían resumirse en cinco: alimentación, detección de peligro, interacción social no sexual, orientación y reproducción. Pero parece ser que olfato y gusto se encuentran asociados a conductas quimiosensoriales diferentes. A pesar de que no existen estudios que expliquen totalmente el papel específico y la interrelación de ambos sentidos en cada una de ellas, parece ser que mientras que el olfato es utilizado por los peces en los cinco tipos de conducta, el gusto se encuentra mayoritariamente asociado a la alimentación, a pesar de que se ha demostrado su importancia en la detección de diversas sustancias presentes en el medio marino, como el dióxido de carbono o determinadas toxinas (HARA, 1982).

Existen asimismo diferencias respecto a la ubicación física de los receptores asociados a cada uno de estos sentidos sobre el cuerpo del pez. Mientras que el sentido del olfato se encuentra centralizado en los órganos o receptores olfatorios situados en la cabeza, los receptores gustativos se encuentran difusos sobre toda la superficie corporal, de forma estrechamente asociada al hábitat de la especie y sus hábitos alimentarios. Los receptores gustativos pueden encontrarse dispersos tanto en el interior de la boca (lengua, paladar y arcos branquiales) como en el exterior (labios, barbas, mandíbulas, superficie de la cabeza, epidermis de los flancos, aletas pectorales y aletas pélvicas) (GERKING, 1994).

1.3. Estrategia alimentaria del lenguado en el medio natural

El comportamiento frente al alimento de la familia de los Soleidos, especialmente *S.solea*, ha despertado el interés de los investigadores y ha sido bien descrito desde hace varias décadas (KRUUK, 1963; DE GROOT, 1969, 1971; MACKIE *et al.* 1980; MACKIE, 1982; APPELBAUM & SCHEMEL, 1983; APPELBAUM, *et al.* 1983; BATTY & HOYT, 1995), tanto por sus especiales características morfológicas como por su peculiar conducta. A continuación se realizará una revisión sobre los diferentes aspectos de la estrategia alimentaria del lenguado.

1.3.1. Perfil trófico del lenguado en el medio natural

Gran parte de las características morfológicas del lenguado son comunes al conjunto del Orden de los Pleuronectiformes. Aunque en dicho Orden existen numerosas especializaciones, se puede generalizar una morfología muy determinada producto de un proceso común a todas las familias que lo componen, a saber, una *metamorfosis* muy característica susceptible de convertir una morfología larvaria, adaptada a la vida pelágica, en un cuerpo adaptado a la vida bentónica.

El individuo después de la metamorfosis presenta diversas particularidades anatómicas que condicionan en mayor o menor grado los hábitos alimentarios. La principal característica es la asimetría corporal, con dos caras bien diferenciadas, la cara *nadiral*, *ciega* o *abocular* (en contacto con el substrato, habitualmente despigmentada) y la cara *zenital* u *ocular* (con una pigmentación más o menos acusada dependiendo del substrato). La asimetría, amén de otros cambios, obliga a una adaptación de la estructura bucal (protráctil y asimétrica) para realizar adecuadamente tanto la captación del alimento como la respiración, con la consecuente atrofia del opérculo de la cara nadiral.

Esta morfología determina en gran parte los hábitos alimentarios de los Pleuronectiformes, a pesar de lo cual existe una diversidad relativamente importante que ha permitido a DE GROOT (1971) establecer una clasificación de los peces planos interrelacionando las características del tracto digestivo, el perfil trófico de cada familia, la conducta alimentaria y la franja horaria preferente de actividad.

En su trabajo, DE GROOT (1971) utiliza hasta 133 especies de Pleuronectiformes pertenecientes a las 5 familias que incluye el Orden, para establecer tres clases dependiendo de cual es el tipo de presa predominante en el perfil trófico de la especie, a saber, peces, crustáceos y poliquetos y moluscos (denominados respectivamente por DE GROOT *fish feeders*, *crustacean feeders* y *polychaete-molluscs feeders*). La división se basa en la morfología del conjunto del tracto alimentario, las dimensiones relativas de las diferentes partes que lo conforman (cavidad bucal y faringe, esófago y estómago, intestino, recto), la ausencia o presencia y grado de desarrollo de las branquispinas en los arcos branquiales y el tipo de alimento ingerido.

Igualmente DE GROOT correlaciona la estrategia prioritaria de detección del alimento con el tipo de presa tal como se tratará más adelante.

La morfología bucal de los Soleidos (clasificados como *polychaete-molluscs feeders*) presenta una asimetría importante, comparando por ejemplo con el rodaballo, *Scophthalmus spp. (fish feeders)*, cuya dieta se basa fundamentalmente en peces y que presenta una simetría casi completa. Esta diferencia se puede justificar por la actividad desarrollada por las presas más frecuentes en cada familia: los primeros se alimentan básicamente de organismos bentónicos de movimiento lento o nulo, mientras que los segundos tienen una conducta alimentaria de depredador, muy activa, y por tanto ingieren básicamente organismos pelágicos que pueden desplegar una cierta velocidad de natación. Por el mismo motivo, los lenguados no disponen de dientes ni de branquispinas bien desarrollados, ya que el tipo de presa que comen, una vez entra en la boca pasa con facilidad al estómago, a diferencia de los rodaballos que ingieren presas activas las cuales deben sujetar eficazmente para su ingestión.

En el lenguado la parte de la boca que se encuentra sobre el costado ocular se utiliza para respiración, para evitar que durante este proceso haya aspiración de barro o arena del sustrato. Mientras que la parte de la boca que se encuentra sobre la cara nadiral sirve para alimentación y está orientada hacia abajo para capturar las presas desde arriba, pudiéndose considerar una adaptación a fondos blandos.

Respecto al tracto digestivo, DE GROOT encuentra una sorprendente uniformidad en las dimensiones relativas de las diferentes partes del tracto en las 36 especies de Soleidos analizadas. En la Fig.1.5. se comparan porcentualmente las regiones del tracto digestivo para diversos miembros de las diferentes familias de Pleuronectiformes.

El estómago y el esófago de los Soleidos son muy pequeños, representando entre los dos menos del 20% del conjunto del tracto, mientras que el intestino es extraordinariamente largo (en algún caso hasta el 80% del conjunto del tracto digestivo), con bucles intestinales complicados. Parece lógico pensar que el consumo frecuente de presas de reducido tamaño, no exija una gran capacidad estomacal de almacén de alimento. En cambio, el tipo de presa suele conllevar una importante fracción indigerible que requiere de una gran superficie de absorción

intestinal. El estudio de la dinámica de llenado y vaciado del tracto digestivo realizado en el mismo trabajo evidencia una tasa de digestión muy rápida, lo que confirma el principio que parece funcionar para el lenguado: “poco y a menudo”.

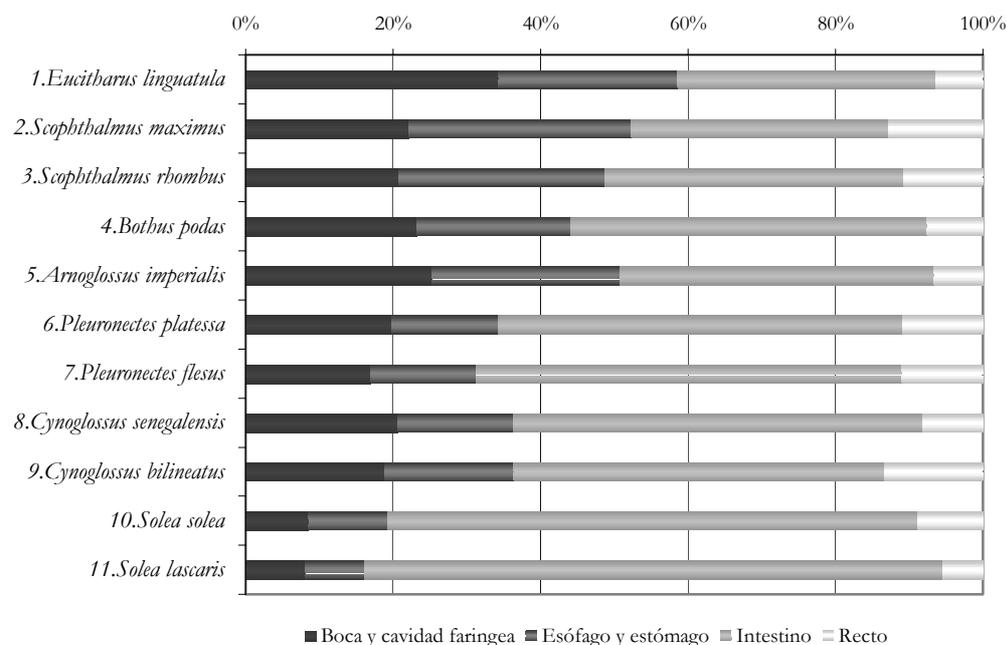


Fig. 1.5. Longitudes relativas de las diferentes partes del tracto alimentario en las diferentes familias de Pleuronectiformes. Se incluyen especies de cada familia de las que componen el Orden: Citáridos:1; Escofitálmidos: 2, 3; Bótidos: 4, 5; Pleuronéctidos: 6, 7; Cinoglósidós: 8, 9; Soleidos: 10, 11 (a partir de DE GROOT, 1971).

Por otra parte, los lenguados no disponen de ciegos pilóricos. DE GROOT (1971) cita la hipótesis presentada por SVETOVIDOV (1934) que correlaciona el aumento en el número de ciegos pilóricos con el incremento en el tamaño de las presas, lo que justificaría la ausencia de ciegos en el caso de los Soleidos ya que se alimentan de presas de reducido tamaño. En cualquier caso, la presencia de ciegos pilóricos sigue siendo un elemento en discusión. Por ejemplo, según GARCIA-GALLEGO & RUS (1987) la ausencia de ciegos representaría una desventaja ya que éstos permiten aumentar la superficie de absorción disminuyendo el volumen de la cavidad abdominal, según lo cual los peces que presentan ciegos e intestino corto, se encontrarían en una situación más ventajosa que los peces que, como el lenguado, no disponen de ciegos y sí de un intestino largo.

Además de DE GROOT, otros autores han estudiado los hábitos alimentarios de los Soleidos en diferentes áreas geográficas. *S.solea* es la especie más estudiada tanto en la costa atlántica (entre otros BRABER & DE GROOT, 1973; LAGARDERE 1987), como en la mediterránea (REYS, 1960; RAMOS, 1982; MOLINERO & FLOS, 1991, 1992), mientras que los estudios sobre *S.senegalensis* son más escasos (CARDENAS, 1981; MOLINERO, 1986; GARCIA-FRANQUESA *et al.* 1996; GARCIA-FRANQUESA 1996).

En el caso de *S.solea* tanto REYS (1960) como BRABER & DE GROOT (1973) están de acuerdo en un perfil trófico dominado por poliquetos y moluscos, de acuerdo con los trabajos anteriores de uno de los autores. En la zona mediterránea, concretamente en el Delta del Ebro, MOLINERO & FLOS (1991, 1992) establecen una dieta basal compuesta preferentemente por crustáceos, poliquetos y moluscos, aunque con variaciones en las respectivas proporciones dependiendo de la edad, el sexo y la época del año. Asimismo RAMOS (1981) incluye los crustáceos en la dieta de *Solea solea* en el Mediterráneo, pero ocupando un segundo lugar en las preferencias de la especie.

Los mismos resultados contradictorios se encuentran en referencia a *Solea senegalensis*. En el litoral suratlántico CARDENAS (1981) establece un perfil trófico compuesto por poliquetos y moluscos bivalvos o poliquetos y larvas de quironómidos, según la zona. Los trabajos de GARCIA-FRANQUESA *et al.* (1996) y GARCIA-FRANQUESA (1996) demuestran que en el Delta del Ebro, *S.senegalensis* utiliza el mismo espectro trófico que *S.solea* y en el mismo orden de preferencia, detectándose cambios importantes en las proporciones relativas conforme varía la edad y la estación del año.

A pesar de las diferencias encontradas en los diversos trabajos que requerirían un estudio más exhaustivo sobre algunos aspectos concretos en cada situación (competencia interespecífica por las mismas presas, presencia y abundancia de las presas en relación con su dinámica temporal y su propio ciclo vital, etc.) se puede resumir que poliquetos, moluscos y crustáceos constituyen el perfil trófico básico de los Soleidos.

1.3.2. Equipamiento sensorial

Tal como se ha dicho anteriormente, los trabajos realizados por DE GROOT (1969, 1971) son especialmente relevantes para clarificar las interrelaciones entre la morfología del tracto alimentario, el tipo de alimento, la conducta alimentaria y la actividad diaria de los peces planos. Asimismo, uno de los objetivos de sus trabajos es establecer la conexión entre la conducta alimentaria y las facultades sensoriales de la especie. Su trabajo incluye una revisión bibliográfica que parte de trabajos publicados a mediados del siglo XIX, en los cuales ya se establece la relación entre las habilidades sensoriales y el comportamiento alimentario de los peces planos. En todos los trabajos publicados en dicha revisión se hace patente que el lenguado se basa en las propiedades olfatorias del alimento para su localización, se citan también sus habilidades táctiles para la detección de las presas y se considera, en general, que el lenguado no utiliza la vista para su alimentación.

A partir de dicho volumen de información, experimentalmente DE GROOT (1969) llega a la conclusión de que el lenguado utiliza básicamente la quimiorrecepción para su alimentación, pero también puede utilizar la vista.

No obstante la utilización del sentido de la vista es poco eficaz. En las experiencias realizadas se demuestra que no es capaz de discriminar entre estímulos visuales de diversos niveles de realismo que se le presentan (desde modelos de peces y crustáceos hasta simples bolas de madera). Aún más, al incrementar progresivamente el tamaño de las bolas de madera sigue identificándolas como una posible presa hasta un tamaño a partir del cual evidencia una reacción de alarma y huida. Estos resultados ratifican los estudios anatómicos sobre la especie citados por DE GROOT en el mismo trabajo y realizados por EVANS (1937), quien clasifica a la familia *Soleidae* dentro del grupo de las especies que disponen en el cerebro de un lóbulo olfatorio importante y un lóbulo óptico relativamente reducido.

Con posterioridad se han publicado otros trabajos que definen en mayor profundidad la utilización de los diversos sentidos por parte del lenguado, realizando bien estudios de observación del comportamiento en diferentes condiciones (BATTY & HOYT, 1995), bien

estudios de microscopía óptica y electrónica de los órganos sensoriales (APPELBAUM & SCHEMMEL, 1983; HARVEY, 1996).

Los estudios histológicos realizados mediante microscopía evidencian que el lenguado dispone de papilas gustativas solamente en la cavidad bucal, las cuales aumentan en densidad desde los labios hasta la faringe. La ubicación de dichas papilas es dispersa encontrándose tanto en los arcos branquiales, como en el paladar, la lengua y otras regiones de la cavidad oral (APPELBAUM & SCHEMMEL, 1983). El sistema olfativo de la familia está constituido por sacos olfatorios de gran tamaño en ambas caras (nadiral y ocular) conectados entre ellos. Habitualmente, incluso en la familia de los Soleidos, los órganos olfatorios laterales se encuentran separados, siendo la conexión de ambos sacos infrecuente. En el caso de *Solea spp.* dicha conexión resulta muy ventajosa ya que hace posible la ventilación de las dos partes del órgano olfatorio, a pesar de que sólo una de las caras, la ocular, esté libre. De este modo los epitelios olfativos de ambas caras pueden funcionar activamente en recepción de estímulos químicos tanto del agua como del substrato (APPELBAUM, *et al.* 1983).

Con el objetivo de definir las especiales habilidades quimiorreceptoras del lenguado HARVEY (1996) establece una comparación con otros peces planos. Determina que, incluso considerando individuos de una longitud equivalente, el área olfatoria total de *Solea solea* es tres veces superior a la de *Pleuronectes platessa*, perteneciente a la familia de los Pleuronéctidos y que se alimenta utilizando básicamente la visión y de forma secundaria la quimiorrecepción. La densidad de células receptoras de estímulos en los sacos olfatorios también es mucho más importante que en platija (*P. platessa*), todo lo cual ratifica unas habilidades quimiosensoriales superiores a otros peces planos.

HARVEY (1996) destaca también la distribución asimétrica de las células receptoras olfatorias, las cuales se hallan en un número superior en la cara ciega o nadiral que en la cara ocular, sugiriendo que la parte del órgano olfativo situado en esa cara tendría un importante papel en la detección de presas ocultas en la arena.

La capacidad sensorial de la cara ciega, se completa con la presencia de gran número de neuromastos libres descritos anteriormente por APPELBAUM & SCHEMMEL (1983). Estos neuromastos se

presentan acompañados por papilas que solamente las protegen del roce con el substrato y que constituyen la causa de que estas estructuras fueran anteriormente descritas como papilas gustativas por otros autores. En el mismo trabajo APPELBAUM & SCHEMMEL describen en el lenguado una línea lateral muy bien desarrollada en ambas caras, aunque con cierta asimetría y con ciertas especializaciones para evitar la obturación de los poros por partículas del substrato en la cara ciega.

El conjunto formado por los neuromastos libres en la cara ciega o abocular y la línea lateral en ambas caras, constituye un sistema de mecanorrecepción muy eficiente que le permite detectar y localizar el movimiento por leve que sea (a veces solamente la respiración como en los poliquetos o en los moluscos) y la posición de las presas. Este sistema justifica que en los trabajos de DE GROOT (1971) el lenguado fuese el único pez plano investigado que detectase incluso el movimiento de presas artificiales o la turbulencia generada por un chorro de agua.

BATTY & HOYT (1995) confirman también, mediante observación y videgrabación del comportamiento, que el lenguado utiliza mayoritariamente la recepción química y mecánica de estímulos para la captura del alimento. Realizan una serie de experiencias orientadas a establecer la dependencia del lenguado por cada uno de los métodos de recepción. Mediante ablación del sistema de mecanorrecepción, demuestran que es capaz de seguir alimentándose solamente con la quimiorrecepción. Asimismo, utilizando diversos grados de iluminación demuestran que la captura de presas se produce a un ritmo similar en presencia de luz o oscuridad, evidenciando que, aunque el lenguado puede utilizar la visión, no depende de ella para alimentarse.

Las conclusiones pueden resumirse diciendo que el lenguado utiliza básicamente la quimiorrecepción, aspecto en el cual todos los investigadores están de acuerdo desde los primeros trabajos sobre la familia, pero también dispone de un sistema de mecanorrecepción muy sofisticado, poco frecuente incluso en especies bentónicas.

Complementariamente puede utilizar la vista pero no depende de este sentido para su alimentación. En comparación con otros peces planos, que podrían tener requerimientos de detección sensorial

equivalentes, el lenguado dispone de un sistema sensorial muy especializado.

1.3.3. Ritmos de actividad alimentaria

Uno de los primeros trabajos relevantes sobre la conducta alimentaria del lenguado, es el desarrollado por KRUUK (1963) el cual con el objetivo de explicar las diferencias entre las capturas diurnas y nocturnas de la especie en el Mar del Norte, realiza un exhaustivo estudio de la actividad del lenguado. El resultado de su trabajo es una excelente descripción de la periodicidad día/noche de la especie, que se puede resumir en los siguientes fragmentos transcritos literalmente: *‘el lenguado (Solea vulgaris Q.) es un animal esencialmente nocturno, inactivo durante el día. En condiciones de acuario, el lenguado pasa todo el día tumbado en la arena, enteramente cubierto, solamente con la mitad superior de su boca, uno de los órganos nasales y los ojos libres. Al final del día el animal se vuelve activo de forma relativamente brusca. (...) Solo ocasionalmente el pez abandona el fondo para realizar una auténtica natación, y raramente llega a nadar en la superficie del agua (...). Al amanecer el lenguado deja de moverse, (...) realiza una serie de movimientos (...) que cubren al animal con arena.’*

KRUUK (1963) describe una pauta de conducta muy determinada con dos puntos de actividad importantes, el inicio de la actividad del pez asociado a la puesta del sol y la interrupción de dicha actividad asociada al amanecer, respectivamente. El primero es denominado por el autor "salto-Omega", debido a la similitud entre la forma que adopta el cuerpo del animal y la letra griega Ω . Con este movimiento el pez se libera de la capa de arena que se acumula sobre su cuerpo durante las horas de inactividad, y así empieza a moverse y a comer. El segundo es "el enterramiento" que comienza con unos vigorosos balanceos de la cabeza sobre la arena, seguidos de unos movimientos verticales diferentes a los de la locomoción, de las aletas dorsal y anal, todo lo cual tiene como consecuencia el recubrimiento del cuerpo de arena en pocos segundos. El salto-Omega se produce exclusivamente al final de un periodo inactivo y siempre que el pez esté enterrado en la arena (en individuos que se encuentran en fondos no arenosos no se desarrolla). El enterramiento, por otra parte, puede producirse cuando el animal se siente amenazado por un cambio brusco en el ambiente (un golpe en el tanque, una persecución, una luz intensa y repentina,...) o como respuesta a su propio "reloj" interno.

Este ritmo diario tiene sentido tanto para la alimentación como para la protección de posibles depredadores. Durante el día el animal está a salvo de la depredación, puesto que un importante grupo de depredadores marinos utiliza la vista para la captura de las presas. Durante la noche se libera de la arena, que podría perturbar su movimiento y recubrir sus órganos sensoriales, y se mueve sobre el fondo utilizando su sofisticado sistema sensorial consiguiendo satisfacer durante este período de actividad todos sus requerimientos alimentarios. Los estudios del contenido y dinámica de vaciado-llenado de tractos intestinales, realizados en el mismo trabajo de KRUUK (1963), ponen en evidencia este ritmo de alimentación.

Esta alternancia en la conducta se produce de forma estrechamente relacionada con la intensidad de luz que parece actuar como sincronizador del ritmo endógeno a lo largo de todo el ciclo vital (en adultos, KRUUK, 1963; en juveniles, CHAMPALBERT & CASTELBON, 1989 y en larvas, CASTELBON *et al.* 1991).

En efecto, en el trabajo de CASTELBON *et al.* (1991) realizado con larvas de lenguado, se describe la aparición de un comportamiento geopositivo a partir de la metamorfosis. Posteriormente va apareciendo de forma progresiva una sincronización entre iluminación y actividad, de tal modo que cuando se reduce la primera aumenta la segunda. Esta relación justifica las migraciones verticales nocturnas típicas de la especie.

En general, existen otros factores que podrían estar implicados en este ritmo aunque de forma menos determinante que la luz. Entre otros, los cambios de salinidad parecen ser susceptibles de generar variaciones en la actividad, tal como lo demuestran CASTELBON *et al.* (1991), pero siempre de forma más notable en la oscuridad y no provocando en ningún caso cambios en el ritmo día-noche endógeno. Asimismo, tanto la presencia de oleaje (CASTELBON *et al.*, 1991) como la presencia de viento (LAGARDERE & BEGOUT, 1994) afectan la actividad del lenguado que tiende a buscar zonas calmas.

Un elemento que también parece determinar de forma importante las migraciones verticales nocturnas del lenguado en busca de alimento, es precisamente la carencia de éste en cantidad o calidad. Cuando la cantidad de alimento presente en el medio es escasa o bien existe una

mayor proporción de presas pelágicas que bentónicas, se detecta un incremento de la actividad natatoria en la columna de agua, incluso durante el día.

Este fenómeno ha sido descrito en larvas postmetamorfizadas, durante la denominada *fijación béntica*, proceso que se produce después de la metamorfosis y que consiste en la localización de un hábitat adecuado por parte de los individuos bentónicos. La oportunidad del hábitat escogido tiene una gran importancia en el futuro de la población ya que es allí donde vivirán durante toda la vida adulta. Si en el momento y en el lugar en que se produce la fijación béntica el alimento es deficiente, en calidad y/o cantidad, los individuos aumentan sus migraciones verticales en busca de alimento adecuado. Este incremento de la actividad provoca un gasto energético excesivo y en ocasiones una fijación béntica escasa y dispersa o en fondos inadecuados para la especie (MACQUART-MOULIN, *et al.* 1991). Cualquiera de las dos posibles consecuencias puede comprometer la futura dinámica de la población y tiene efectos negativos en las futuras pesquerías sobre la especie.

También en adultos mantenidos en cautividad, se ha demostrado un aumento de la actividad natatoria en columna de agua cuando el aporte de presas vivas es deficiente. Al aumentar la densidad de las mismas la actividad se reduce considerablemente (BATTY & HOYT, 1995).

1.4. Estímulos químicos en peces

1.4.1. Tipos de estímulos químicos en peces

El enorme desarrollo de los sistemas de quimiorrecepción en el medio acuático a través de la evolución se justifica por diversos factores. Por una parte, el agua es un solvente universal, que admite la disolución de infinidad de sustancias. Por otra parte, los organismos acuáticos liberan al medio importantes cantidades de compuestos orgánicos resultantes de sus diversas funciones metabólicas como osmorregulación, digestión, respiración, catabolismo, etc. Estas sustancias se encuentran presentes de forma ubiquitaria y relativamente permanente en el medio, convirtiéndose

en señales químicas portadoras de importante información para los organismos acuáticos.

Efectivamente, desde los años 50 y hasta los trabajos realizados en las últimas décadas, se ha visto que la mayoría de estímulos tanto gustativos como olfatorios identificados en peces, son sustancias que se encuentran en elevadas concentraciones en los tejidos vivos o bien son subproductos metabólicos de los diversos organismos acuáticos. MACKIE (1982) considera incluso que es posible que en el ambiente marino exista un sistema de defensa bien definido como el que existe en las plantas, en las cuales está basado en la presencia de sustancias estimulantes para atraer a los insectos y sustancias repelentes para luchar contra predadores y herbívoros, las cuales serían metabolitos primarios y secundarios respectivamente.

Este extremo, sujeto a cierta controversia según el propio MACKIE, sigue sin demostrarse en peces. Pero a partir de esta afirmación que considera los subproductos metabólicos como compuestos sensorialmente activos, surge la duda de cómo se pueden identificar específicamente estos compuestos que se hallan disueltos en la compleja solución acuosa de sustancias químicas que es, en realidad, el medio acuático.

ATEMA (1985) propone la hipótesis de que aquellas sustancias que actúan eficazmente como estímulos tienen la capacidad de contrastar, cuantitativa o cualitativamente, sobre el resto de sustancias de fondo. Para que esto se produzca su presencia en el medio debería ser “rara” o única en un ambiente particular y además debería ser relativamente inestable o lábil de modo que su presencia no fuese permanente en dicho ambiente.

Estas condiciones podrían producirse con sustancias muy comunes que simplemente se acumulasen en un momento dado hasta una concentración inusual, en forma de pulso individual o como una serie de pulsos. ATEMA denomina a esta situación *espectro de contraste* y considera que se produce a partir de mezclas de compuestos y sólo raramente a partir de compuestos individuales. Estas mezclas serían, según el autor, altamente específicas, constituyendo lo que él mismo denomina una “fotografía química” de la fuente del estímulo y serían además capaces de superar tanto

el umbral de detección como el “ruido” de fondo, compuesto por el resto de sustancias disueltas en el medio. HARA (1982) defiende la misma hipótesis y compara dichos *espectros de contraste* con las huellas dactilares.

La afirmación de que estas señales químicas serían mayoritariamente mezclas de sustancias se ve ratificada en diversos trabajos sobre quimioestimulantes, en los cuales se ha establecido que prácticamente ninguna sustancia es individualmente tan potente como una mezcla que la incluya (MACKIE *et al.*, 1980; MACKIE, 1982; CARR, 1982; HARA, 1982). La superior reactividad provocada por una mezcla de estímulos frente a la que genera un compuesto individual, se puede justificar suponiendo que entre los distintos componentes de la mezcla se produce una sinergia, fenómeno por el cual dos o más sustancias producirían una reacción más intensa que la predecible suponiendo la simple adición de estímulos (GERKING, 1994). Este fenómeno proporciona la posibilidad de detectar mezclas de estímulos a concentraciones inferiores al umbral de sensibilidad para cada uno de los constituyentes de la misma. En el otro extremo de la misma situación, a elevadas concentraciones se produce una supresión de la respuesta posiblemente como consecuencia de la saturación de receptores.

Respecto a la persistencia del estímulo en el medio ATEMA (1985) matiza que dependiendo de si el estímulo es efectivo a corta o a larga distancia, la labilidad probablemente será diferente. Es preciso tener en cuenta que una vez que la mezcla de sustancias químicas es liberada al medio sufrirá interacciones con el mismo debido a factores físicos, químicos y biológicos, que actuarán de diferente manera sobre cada uno de los componentes de la mezcla modificándola. Por tanto sería de esperar que la detección a cierta distancia dependiese de sustancias más estables, mientras que la localización de estímulos próximos estuviese basada en compuestos mucho más inestables.

Aparte de una posible especificidad de las sustancias dependiendo de la distancia de actuación, podría existir también una especificidad ligada al tipo de receptor, a saber, gustativo u olfativo. En efecto, en la bibliografía se reportan sustancias que activan de forma excluyente uno u otro sentido, pero también se encuentran compuestos que actúan sobre ambos sin que se pueda establecer de forma clara una vía de actuación diferenciada. También se reportan casos en los que una misma

sustancia activa uno u otro tipo de receptores dependiendo de la concentración a la que se encuentra.

Globalmente, los *estímulos gustativos* identificados hasta el momento y que tienen una mayor actividad en teleósteos cumplen, en su mayoría, las siguientes características: (1) son sustancias de bajo peso molecular (<1000), (2) no volátiles, (3) nitrogenadas y (4) anfotéricas, (HARA, 1982). Entre otros se incluyen, de forma general, aminoácidos, pequeños péptidos, nucleótidos, compuestos de amonio cuaternario y ácidos orgánicos, aunque pueden existir otras sustancias mucho más específicas que actúen exclusivamente en algunas especies (SORENSEN & CAPRIO, 1998).

Dada la mayor diversidad de funciones del olfato, existen muchas más sustancias que se encuentran asociadas como estímulo a este sentido que al gusto y por tanto son más difíciles de clasificar. Las *señales olfativas* tienden a ser también subproductos metabólicos de bajo peso molecular solubles en agua que tienen algún significado biológico inherente. Hasta la actualidad se han descrito cuatro grandes grupos de estimulantes olfativos en varias especies de peces: (1) aminoácidos, (2) ácidos biliares, (3) esteroides gonadales y sus derivados y (4) prostaglandinas (SORENSEN & CAPRIO, 1998).

Haciendo especial énfasis en la conducta alimentaria, del conjunto de sustancias citadas con actividad estimulante gustativa u olfativa, los que tienen una función más clara son los aminoácidos. Este es uno de los casos en que resulta difícil identificar cuándo están actuando sobre uno u otro sentido. A pesar de ello, basándonos en los resultados obtenidos hasta hoy, se pueden establecer algunas generalizaciones. Por una parte, el espectro de aminoácidos estimulantes es mucho más especie-específico para las respuestas gustativas, que para las respuestas olfativas en las cuales existe una cierta homogeneidad entre especies próximas (HARA, 1982). Asimismo, en el caso de las sustancias estimulantes para el gusto, existe una importante especificidad para algunas especies en relación con las sustancias que acompañan a los aminoácidos, produciendo una sinergia y constituyendo una mezcla más estimulante (MACKIE, 1982).

Aminoácidos

Dada la dificultad de distinguir la capacidad estimulante de los aminoácidos sobre uno u otro sentido, a partir de este momento se hablará de ellos en su papel de estimulantes de la conducta alimentaria sin tener en cuenta si actúan sobre olfato o sobre gusto.

Los estudios electrofisiológicos han sido determinantes para establecer la capacidad estimulante de uno u otro aminoácido en las diferentes especies, aunque es importante tener en cuenta, que los resultados no son 100% coincidentes con los obtenidos en estudios de comportamiento (GERKING, 1994). De hecho, en las pruebas *in vivo* pueden darse circunstancias o factores que faciliten o interfieran en la detección de un estímulo concreto, por este motivo, y considerando que son un excelente punto de partida, los estudios electrofisiológicos deberían acompañarse de otros tipos de tests *in vivo* para ratificar sus resultados.

De uno u otro modo, todos los peces investigados hasta el momento, tanto marinos como de agua dulce, parecen detectar eficazmente los aminoácidos y los relacionan con un posible alimento (HARA, 1982, 1993). Existen algunas diferencias en cuanto al espectro o a la concentración, por ejemplo algunas especies detectan un amplio rango de aminoácidos (como el pez gato), mientras que otras especies detectan sólo unos cuantos (como los salmónidos) (SORENSEN & CAPRIO, 1998). Existen referencias bibliográficas sobre un total de 30 especies y los resultados encontrados son lo suficientemente diversos como para evitar hacer demasiadas generalizaciones, pero sí se pueden afirmar algunos aspectos que serían aplicables a muchas de las especies estudiadas.

Generalmente, los L-aminoácidos son más estimulantes que sus D-isómeros, aunque obviamente existen excepciones para alguna especie. Del mismo modo, los aminoácidos neutros y básicos son más estimulantes que los aminoácidos de tipo ácido (CARR, 1988). En general, los aminoácidos que parecen tener un mayor poder estimulante son los más simples, cortos y con un número inferior de grupos radicales (HARA, 1982). Los umbrales de sensibilidad o detección para los aminoácidos, para los dos tipos de quimiorreceptores, oscilan habitualmente entre 1×10^{-6} y 1×10^{-8} M. (GERKING, 1994). Pero, para una máxima eficiencia en todas las condiciones los receptores de aminoácidos deben estar adaptados a detectar

un rango de concentraciones extremo, oscilando entre 1×10^{-2} M (concentración máxima de aminoácidos en un tejido animal) y 1×10^{-8} M (concentración natural de aminoácidos en las aguas litorales) (ATEMA, 1985) pudiendo detectar, según otros autores, valores de hasta 1×10^{-11} M (GERKING, 1994). Obviamente, el umbral de sensibilidad para cada compuesto y en cada caso en particular es difícil de establecer dadas las sinergias que se producen entre los compuestos.

Betaína

Aparte de los aminoácidos, existe otra sustancia muy activa como desencadenante de la conducta alimentaria, se trata de la *betaína* (N-trimetil glicina = glicina betaína), un compuesto de amonio cuaternario, que actúa en mayor o menor grado sobre todas las especies investigadas, sola o formando parte de una mezcla (para revisión ver MACKIE 1982). Al igual que sucede con los L-aminoácidos, la betaína es un componente habitual de todos los tejidos animales marinos. Los primeros se detectan tanto en tejidos de vertebrados como de invertebrados (MACKIE & MITCHELL, 1985). La betaína, por otra parte, está presente de forma casi universal, y en abundancia, en los invertebrados marinos y los elasmobranquios, considerándose su proporción muy baja o nula en los peces teleósteos (LOVE, 1970).

Tabla I.1. *Organismos que constituyen la dieta natural y sustancias que actúan como estimuladoras de la conducta alimentaria de algunas especies (MACKIE & MITCHELL, 1985).*

Orden	Organismos que constituyen la dieta natural	Estimulante de la conducta alimentaria
Salmoniformes		
<i>Onchorynchus mykiss</i>	Diversos invertebrados	Mezclas de L-aminoácidos
Anguiliformes		
<i>Anguilla anguilla</i>	Crustáceos, moluscos, lombrices,	Mezclas de L-aminoácidos
<i>Anguilla japonica</i>	larvas y juveniles de peces	Mezclas de L-aminoácidos
Perciformes		
Familia <i>Serranidae</i>		
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Juveniles: crustáceos, anfípodos y peces pequeños Adultos: peces	Mezclas de L-aminoácidos
Familia <i>Carangidae</i>		
<i>Seriola quinqueradiata</i>	Juveniles: cefalópodos, peces Adultos: peces	Inosina 5'-monofosfato (más aminoácidos)
Familia <i>Sparidae</i>		
<i>Chrysophrys major</i>	Crustáceos, poliquetos	Betaína más L-aminoácidos
Pleuronectiformes		

Familia <i>Bothidae</i>		
<i>Scophthalmus maximus</i>	Juveniles: moluscos y poliquetos Adultos: peces	Inosina o inosina 5'-monofosfato
<i>S. rhombus</i>	Juveniles: moluscos y poliquetos Adultos: peces, calamar, crustáceos	Inosina o inosina 5'-monofosfato
Familia <i>Pleuronectidae</i>		
<i>Pleuronectes platessa</i>	Poliquetos, moluscos, crustáceos	Mezcla compleja de sustancias
<i>Limanda limanda</i>	Principalmente crustáceos	
Familia <i>Soleidae</i>		
<i>Solea solea</i>	Poliquetos, moluscos, crustáceos	Betaína más aminoácidos

La potencia de la betaína como estimulante de la alimentación en algunas especies, como el lenguado, se demuestra en aquellos trabajos que evalúan individualmente cada una de las sustancias que componen una mezcla y comparan su poder estimulante con la del conjunto de la mezcla. En un trabajo realizado con lenguado por MACKIE *et al.* (1980) sólo la betaína resulta igualmente potente aplicada de forma aislada, el resto de sustancias parecen ser mucho más potentes formando parte de la mezcla que aplicadas individualmente. En cambio en una experiencia realizada con anguila HASHIMOTO *et al.* (1968, citado en CARR, 1982) se obtiene una actividad estimulante equivalente utilizando un extracto natural de almeja o una mezcla de 18 aminoácidos, mientras que la aplicación individual de cada uno de los 18 aminoácidos se demuestra del todo ineficaz.

En la Tabla I.1. se citan algunos trabajos que determinan la relación entre algunos compuestos que actúan como estimulantes de la conducta alimentaria y las especies sobre las cuales tienen efecto (MACKIE & MITCHELL, 1985).

1.4.2. Clasificación de los estímulos químicos según su papel en la conducta alimentaria

Considerando que la conducta alimentaria es una secuencia de eventos que terminan en la consumación de la ingesta y teniendo en cuenta la hipótesis de ATEMA (1985), según la cual no necesariamente las mismas sustancias serían efectivas en la detección lejana y en la detección próxima, es obvio que los distintos tipos de estímulos químicos pueden jugar un papel diferente en la conducta frente al alimento.

El primer paso para la construcción de un modelo de conducta es la clasificación de los estímulos que participan en ella, pero no todos los autores definen del mismo modo cada uno de los papeles que un estímulo puede jugar en el conjunto de la secuencia alimentaria. En la bibliografía especializada se encuentran numerosas denominaciones que a menudo se utilizan de forma confusa. Este es un elemento esencial en el presente trabajo, dado que se pretende cuantificar los posibles cambios que se producen en la conducta alimentaria cuando se modifican las características organolépticas del alimento. Por ello es preciso definir los términos tal como se van a utilizar desde este punto.

Se parte del trabajo publicado por LINDSTED (1971), en el cual se estandariza la secuencia de eventos que componen la respuesta alimentaria mediada por quimiorrecepción adjudicando a los estímulos químicos un papel jerárquico según su capacidad para modular la respuesta frente al alimento. LINDSTED define *un buen estímulo* como aquel que *es capaz de atraer al individuo, retenerle en sus proximidades, provocar el inicio de la ingesta y conseguir que siga comiendo después de degustarlo*. Define de diferente manera el estímulo que actúa en cada una de las fases según si la respuesta del individuo es positiva o negativa.

MACKIE & MITCHELL (1985) tabulan la definición de LINDSTED tal como se expresa en la Tabla I.2.

Tabla I.2. *Respuesta a diferentes tipos de estímulos químicos (a partir de MACKIE 1982 y MACKIE & MITCHELL 1985).*

Respuesta	Estímulo	
	+	-
Orientación (distante)	<i>Atrayente</i> (estímulo al que responde el animal orientándose hacia él, posiblemente a larga distancia)	<i>Repelente</i> (estímulo al que responde el animal alejándose de la fuente aparente del mismo)
Orientación (próxima)	<i>Frenador o Secuestrante</i> (estímulo que provoca que el animal deje de moverse cerca de la fuente aparente del mismo)	<i>Repelente</i> (igual que el anterior)
Iniciación de la ingesta (degustación)	<i>Incitante</i> (estímulo que provoca la iniciación de la ingesta)	<i>Supresor</i> (estímulo que inhibe la iniciación de la ingesta)
Continuación de la ingesta	<i>Estimulante</i> (estímulo que promueve la ingesta y la continuación de la misma)	<i>Disuasor</i> (estímulo que detiene la continuación de la ingesta o acelera el fin de la misma)

1.4.3. Aplicación en cultivo de lenguados

La cuestión es: ¿cómo se puede reproducir esta secuencia en la práctica de cultivo y mantenerla hasta conseguir una ingesta continuada?. Existe en la bibliografía un importante volumen de trabajos con este objetivo teniendo como sujeto diferentes especies. Es importante destacar de nuevo que, a pesar de la importancia de los resultados obtenidos, el número de especies sobre las cuales se ha investigado no deja de ser un porcentaje muy reducido del total de especies de peces, es decir que todavía existe mucho por conocer (SORENSEN & CAPRIO, 1998). Por otra parte, existen también interesantes trabajos sobre quimiorrecepción y sustancias estimulantes en crustáceos (LEE & MEYERS, 1996; PITTET, *et al.*, 1996) y moluscos (HARADA, 1986; VIANA, *et al.*, 1994; RIVERO & VIANA, 1996) pero también centrados en un número reducido de especies con interés para la acuicultura.

En los primeros trabajos orientados a provocar una respuesta positiva al alimento en diversas especies, se utilizan extractos naturales, pastas u homogeneizados preparados a partir de las presas que se sabe constituyen el perfil trófico natural de la especie, siempre con la finalidad de acercar el sabor del alimento “artificial” a la dieta natural de los individuos en su hábitat. Se han publicado diversos trabajos en esta línea que tienen como sujeto el lenguado (BROMLEY, 1977; GIRIN, *et al.* 1977; MACKIE *et al.* 1980).

A partir de algunos de los resultados obtenidos, diversos trabajos analizan dichos extractos naturales e intentar detectar, y a ser posible cuantificar, todas las sustancias químicas con capacidad estimulante que incluyen. Los mejores resultados se obtienen cuando se utiliza una mezcla de compuestos químicos equivalente a la composición de la carne de alguna de las presas. En una experiencia con juveniles de lenguado, y en el mismo trabajo citado anteriormente, MACKIE *et al.* (1980) proceden omitiendo uno a uno todos los componentes de la mezcla hasta llegar a determinar la actividad de cada uno de ellos y consiguen demostrar la actividad estimulante de la ingesta de la glicina-betaína para individuos de peso superior a los 50 g, así como la necesidad de incorporar además algunos aminoácidos en forma L en dietas para especímenes de menor tamaño (2.5 g de peso en el trabajo de MACKIE y coautores).

Es importante destacar, tal como se ha comentado en el apartado 1.4.1., que en este trabajo la betaína es el único compuesto individual que, incorporado a dietas de lenguado, parece mantener su capacidad estimulante aunque se administre en solitario, mientras que el resto de sustancias parecen ser mucho más potentes formando parte de una mezcla que aplicadas individualmente.

Diversos trabajos siguen al desarrollado por MACKIE *et al.* (1980) intentando demostrar el potencial de la utilización de dichos estimulantes para una futura producción industrial de lenguado. Se realizan experiencias en las que se mejora tanto la supervivencia como la tasa de crecimiento con piensos que incorporan mezclas de compuestos químicos, mayoritariamente aminoácidos (CADENA ROA *et al.* 1982; CADENA ROA, 1983; METAILLER *et al.* 1983).

En el caso de alevines de lenguado en fase de destete, el período más crítico, los mejores resultados, tanto en supervivencia como en crecimiento, se registran con una tasa de incorporación de betaína del 4.4%, formando parte de una mezcla de atrayentes químicos que totaliza el 7% de la dieta (casi el 60% de la mezcla de atrayentes corresponde a betaína) (CADENA ROA *et al.* 1982). A pesar de que los autores concluyen que el coste de atrayentes es reducido en comparación con los resultados obtenidos, especialmente teniendo en cuenta las mínimas cantidades de alimento necesarias, lo cierto es que las dietas de lenguado resultan poco comerciales bajo estas condiciones, considerando su utilización a mayor escala. Posteriormente, METAILLER *et al.* (1983) reducen el coste de adición de atrayentes incorporando solamente glicina betaína, glicina e inosina, con buenos resultados pero aún a un precio relativamente elevado.

Al mismo tiempo, dado que los resultados no son concluyentes en ningún caso, MORINIERE (1983) compara alimentos para juveniles de lenguado que consisten en una pasta fresca (un molusco, *Cytherea chione*, y una mezcla de harinas de calamar y pescado) con gránulos secos que incluyen una mezcla de atrayentes químicos. La conclusión es que el aporte de un pienso húmedo basado en ingredientes frescos, parece arrojar unos resultados de crecimiento similares a los que se consiguen con la adición de glicina-betaína en un pienso seco.

Es interesante destacar que MACKIE y su equipo utilizan en todas sus experiencias una dieta base compuesta por caseína. Los trabajos posteriores citados más arriba utilizan dietas basadas en harina de pescado, la cual es muy poco palatable para el lenguado. Es preciso recordar que, por una parte, el pescado no forma parte del perfil trófico habitual de los Soleidos (ver apartado 1.3.1) y que, por otra parte, la harina de pescado, producida a partir de peces teleósteos, prácticamente no contiene betaína (LOVE, 1970). Precisamente por su composición, y a pesar de su inferior palatabilidad, los resultados obtenidos con las dietas que utilizan harina de pescado como ingrediente mayoritario son muy significativos ya que se hallarían más próximas a la composición de un posible pienso comercial para lenguado.

1.5. Aromas comerciales: concepto y aplicaciones

En el desarrollo de otras formas de producción zootécnica se han producido problemas de palatabilidad similares a los encontrados para especies acuáticas, especialmente asociados a la alimentación de las primeras edades y a la administración de piensos medicamentosos. Este tipo de problemas organolépticos se ha resuelto en gran manera gracias a la incorporación en los piensos de aromas procedentes de la industria de alimentación humana.

La purificación, identificación y síntesis de sustancias con características organolépticas interesantes constituyen la base de la industria de producción de aromas, cuyo principal destino es la alimentación humana. El objetivo final es conseguir una mezcla de sustancias que sea capaz de reproducir una sensación aromática determinada. Es preciso tener en cuenta que el objetivo final de esta industria es el consumo humano y que por tanto esa sensación aromática será detectada por personas. Por tanto, la utilización de dichos aromas en el presente trabajo podría parecer una deformación antropomórfica. Lo que se pretende aprovechar de dicha industria es el enorme banco de compuestos sensorialmente activos que ofrecen multitud de posibilidades experimentales. Así se inició también la utilización de aromas en otras formas de ganadería, pasando posteriormente a diseñar pruebas sensoriales específicas que permitieron definir aromas más adecuados para cada uno de los grupos animales. En el campo de la acuicultura, hasta el momento, no se encuentran referencias bibliográficas

que describan la utilización de este tipo de aromas en peces, mientras que en crustáceos, sí existe un precedente de utilización de aromas comerciales en experiencias de cultivo de langostino (PITTET *et al.* 1996).

A continuación y con la finalidad de evitar una utilización confusa del concepto *aroma*, se definirá el término tal como se utiliza en la industria que los produce. Igualmente se caracteriza brevemente su origen y las vías de obtención. Se resume de forma somera el interés de su aplicación en producción animal. Y finalmente se sitúan los aromas comerciales en su contexto legal.

1.5.1. Definición de aroma. Generalidades

La palabra aroma tiene dos acepciones que es necesario distinguir en primer lugar. Se utiliza la palabra *aroma* para denominar la sensación olfativa o gustativa agradable que produce, por ejemplo, un alimento. Pero en cambio la industria alimentaria denomina *aroma* a una preparación concentrada de sustancias olorosas y aromáticas, con o sin disolventes o soportes, utilizada exclusivamente para dar un particular olor o sabor a los alimentos y para aumentar o mejorar dicho olor o sabor. En adelante, se utilizará esta segunda acepción de la palabra *aroma*.

La mayor parte de aromas presentes en los alimentos naturales son metabolitos o subproductos procedentes de los ciclos metabólicos habituales que se producen en ellos de forma natural o bien durante los diversos tipos de cocción. La formación de aromas ocurre mayoritariamente a través de las vías siguientes (KUENTZEL & BAHRI, 1991): (1) *enzimática*: la actividad de los enzimas es la responsable de la producción de diversos tipos de compuestos dependiendo del ciclo metabólico en el cual se originen, siendo las vías metabólicas más importantes aquellas en las que se encuentran implicados ácidos grasos (por ejemplo en la biosíntesis de los mismos a partir de ácido acético), aminoácidos (por ejemplo en la conversión de un aminoácido a un aldehído o degradación de Strecker), carbohidratos y terpenoides; (2) *no enzimática*: la reacción más importante dentro de este grupo, en lo que respecta a generación de compuestos aromáticos, es la reacción de Maillard, en la cual se produce la reacción térmica de un azúcar y un aminoácido. Se caracteriza por generar una gran variedad de sustancias a concentraciones muy

reducidas y (3) *fermentativa*: esta vía agrupa las reacciones mediadas por microorganismos, incluye procesos como la maduración del queso, la fermentación del vino o la generación de sustancias por biotecnología.

La industria de producción de aromas a gran escala intenta reproducir estas formas naturales de producción de sustancias aromáticas. Para ello se aplican métodos físicos (destilación, extracción), químicos (reacciones de Maillard) o se utilizan enzimas y microorganismos. Pero para la producción de aromas es imprescindible un trabajo de investigación previo que tiene como objetivo identificar sustancias químicas definidas que se encuentran presentes en los alimentos y que son responsables del olor y sabor de los mismos.

Una revisión de los principales métodos analíticos utilizados, aún válida en la actualidad, se puede encontrar en MAARSE & BELZ (1985).

Se podría sintetizar la investigación de cada nuevo compuesto químico definiendo resumidamente las dos partes importantes del proceso: (1) *extracción o aislamiento del conjunto de sustancias aromáticas que emite un producto natural*: con este fin, una de las técnicas más resolutivas es el análisis del denominado *head-space*, o volumen de aire encima del producto, ya que en este volumen las sustancias se encuentran en las mismas proporciones en que actúan sobre los receptores olfativos; utilizando la misma técnica puede analizarse también la materia prima por destilación, extracción o una combinación de ambas, la SDE (simultaneous steam distillation/extraction), para obtener las sustancias activas sobre el gusto; (2) *separación e identificación de las sustancias aromáticas individuales*, basándose esencialmente en la utilización de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), se pretende comprender la composición global del aroma para intentar la síntesis de las sustancias químicas más importantes que permitirán su reproducción (KUENTZEL & BAHRI, 1991).

La combinación de éstas y otras técnicas de extracción, separación e identificación ha permitido detectar un número muy importante de compuestos aromáticos, especialmente entre 1965 y 1985 (coincidiendo en gran manera con el desarrollo de la cromatografía que permitió analizar por primera vez compuestos volátiles) tal como se observa en la Fig. 1.6. De todos ellos, solamente un número relativamente reducido

(I), alrededor de 2000, se utiliza para la producción de aromas industriales. Otro gran grupo (II) incluye sustancias bien definidas pero que aún requieren, para su utilización habitual, de estudios más profundos sobre su comportamiento y posibles interacciones en las diversas aplicaciones industriales (umbrales de detección, sinergias, estabilidad, etc.). El último grupo de compuestos (III) es, hoy por hoy, inaccesible por motivos bien de salud pública, bien de rentabilidad económica o complejidad tecnológica.

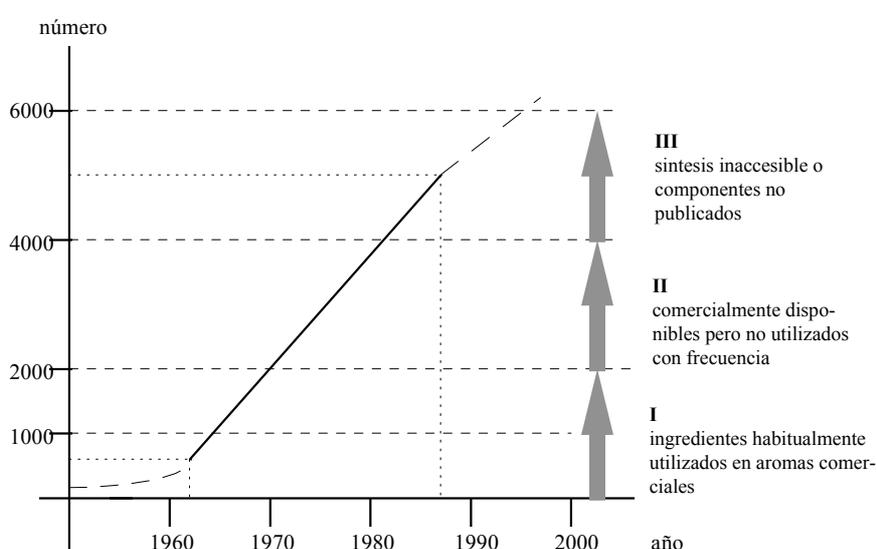


Fig. 1.6. Evolución en la identificación de nuevas sustancias aromáticas desde la década de los 60 hasta la actualidad (KUENTZEL & BAHRI, 1991).

Cuando los aromas van a utilizarse para consumo humano adquiere una gran importancia la ratificación por vía sensorial de los resultados analíticos obtenidos. De hecho, cuando a partir de los años 60, gracias al desarrollo de la cromatografía de gases, se detectó un importante número de sustancias nuevas hubo una cierta decepción al comprobar que muchas de las sustancias recién identificadas no resultaban determinantes en la definición de un aroma concreto o no aportaban nada nuevo desde el punto de vista sensorial. Curiosamente las sustancias más evidentes para el olfato, no eran siempre las que daban picos más importantes en el cromatograma. Existen dos posibles explicaciones (1) que el olfato pueda detectar de forma selectiva algunas sustancias con una precisión superior a la instrumental y (2) que se produzca una transformación negativa de los compuestos activos durante su recuperación, alterando sus características aromáticas. Con este fin, en la investigación sobre aromas y en su

producción industrial, se realiza con frecuencia un test olfativo de las sustancias que se obtienen. De este modo se determinan diferentes propiedades olfativas del aroma, a saber, *detectabilidad* -mínima concentración que crea una sensación olfativa-, *intensidad* -fuerza de la sensación percibida-, *calidad* -características del aroma percibido- y *aceptabilidad* -valor hedónico-. Es importante recordar que olor y sabor son sensaciones, no mezclas de compuestos químicos, que se detectan de forma subjetiva y lo que se pretende “medir” por vía sensorial es esta subjetividad.

Finalmente la creación del aroma se realiza mezclando de forma subjetiva, es decir utilizando la experiencia y también el análisis sensorial, aquellos compuestos que acaban dando la impresión de aroma buscado para la aplicación en estudio. Los resultados finales pueden ratificarse diseñando paneles sensoriales específicos.

Cuando los aromas se van a utilizar en otras especies, como en producción ganadera o en acuicultura, será imprescindible el desarrollo de los correspondientes análisis sensoriales para determinar la detección y aceptación de las sustancias obtenidas en el laboratorio.

1.5.2. Utilidades

En general, la necesidad de utilizar aromas industriales surge cuando los procesos de producción de los alimentos se tecnifican y afectan las cualidades aromáticas iniciales de los mismos y, por lo tanto, su aceptación por parte del consumidor. Se requieren alimentos de calidad constante, sabor inalterable, precio estable, disponibilidad anual y larga conservación. Estas exigencias justifican el gran desarrollo de la industria de los aromas comerciales desde los años 60 hasta la actualidad. Hoy se utilizan aromas para reforzar un sabor pobre, para compensar pérdidas sufridas durante el proceso de fabricación, para esconder sabores desagradables,... En el contexto de los productos de consumo humano se aplican a alimentos, bebidas, tabaco, productos de higiene oral, medicamentos,...

En el campo de la producción animal existe la misma problemática, especialmente en la producción de piensos compuestos puesto que tanto durante la fabricación, como durante el período de

conservación de las materias primas y/o piensos, se pueden perder los aromas naturales presentes originariamente. Además, tal como se ha citado antes, pueden existir problemas específicos bien por requerimientos organolépticos mucho más exigentes en las primeras edades, bien por alteraciones severas de la palatabilidad generadas por la incorporación de medicamentos, aditivos, etc.

Por todo ello, su utilización en la alimentación de especies ganaderas terrestres tiene diversas finalidades nutricionales y sanitarias (Tabla I.3.) implicando además diversos beneficios tecnológicos (Tabla I.4.).

Tabla I.3. *Finalidades nutricionales y sanitarias en la adición de aromas en alimentos animales (BRADLEY, 1983)*

<p>Induce la ingesta Incrementa la cantidad total de pienso consumido Estimula la actividad secretora Facilita el destete Mantiene el apetito en períodos de estrés Aumenta la eficacia de los piensos medicamentosos Ayuda a mejorar la digestión</p>
--

Tabla I.4. *Beneficios tecnológicos de la adición de aromas en piensos (BRADLEY, 1983).*

<p>Aumenta el uso de ingredientes menos palatables Restituye el aroma perdido de los alimentos naturales Refuerza el aroma existente Aporta uniformidad a las características organolépticas de los piensos Enmascara o neutraliza los sabores adversos o repelentes</p>
--

En la alimentación de especies ganaderas terrestres la investigación sobre la adición de aromas a los piensos registró un gran incremento en las décadas de los 60-70 (TRIBBLE, 1973). En la actualidad este tema sigue teniendo vigencia ya que la introducción de los piensos extrusionados ha agravado el problema de pérdida de aroma durante la fabricación, debido a las elevadas temperaturas alcanzadas durante el proceso. Asimismo el incremento en la utilización de una gran diversidad de subproductos, no siempre organolépticamente agradables para los animales, aumenta el interés por la incorporación de aromas en los piensos. Siguen apareciendo resultados de la investigación que tienen como sujeto especialmente las primeras edades de rumiantes y cerdos, muy sensibles a los aspectos organolépticos (LONSDALE, 1997) y también en caballos, pollos, etc. (ADAMS, 1997).

En acuicultura, su aplicación podría tener el mismo interés, no solamente en especies con elevados requerimientos organolépticos, como el lenguado, sino en general cuando se pretende incorporar nuevos

ingredientes a los piensos que tienen sabores desagradables incluso para las especies menos exigentes, como podría ser la trucha. La creciente obligación de sustituir la harina de pescado como fuente principal de proteína en los piensos, puede generar una importante necesidad de incorporar compuestos aromáticos que mantengan la palatabilidad del alimento y garanticen los niveles de ingesta.

1.5.3. Metodología para el desarrollo de una aplicación

Teniendo en cuenta que los compuestos aromáticos son volátiles, es necesario determinar para cada una de las aplicaciones el soporte o *carrier*, así como la vía de incorporación del aroma al soporte. La combinación más adecuada permite obtener (1) una mezcla homogénea con la matriz del alimento, (2) la liberación del aroma en el momento preciso y con la potencia precisa y (3) una buena protección frente a la degradación (especialmente oxidación y evaporación) aportando una mayor vida útil.

En las industrias de producción de aromas se utilizan diversos métodos de protección o encapsulación de aromas. El más común es el *spray-drying* (para revisión RISCH & REINECCIUS, 1988) que también se emplea en otros sectores, como por ejemplo el tratamiento de algunas materias primas para fabricación de piensos compuestos (como la harina de sangre). En esta técnica, una mezcla de material acuoso (agua, *carrier* y aroma) es atomizada hacia el interior de una corriente de aire caliente. Las partículas de *carrier* atomizadas se secan muy rápidamente, atrapando las sustancias volátiles, en este caso aromas, en su interior. El polvo se recupera a partir de ciclones colectores (REINECCIUS, 1988). Obviamente existen muchas diferencias en el producto obtenido variando los parámetros del proceso (homogeneidad y viscosidad de la mezcla, temperatura de trabajo, flujo de entrada del material,...), pero uno de los factores que introduce mayores diferencias en las propiedades del producto final es el tipo de soporte.

Los soportes utilizados en producción de aromas se clasifican en tres grandes grupos: *almidones hidrolizados*, *almidones emulsificantes* y *gomas* (esencialmente goma arábica) (REINECCIUS, 1988). Los *almidones hidrolizados* son muy baratos e insípidos, pero tienen una capacidad reducida de retención de volátiles. Los *almidones emulsificantes* son también

hidrolizados pero han sufrido transformaciones que les aportan cierta lipofilia. Su capacidad de retención de volátiles es superior pero son más caros y aportan algún sabor secundario, además de tener un bajo poder de protección contra la oxidación. Suelen aplicarse en combinación con maltodextrinas. La *goma arábiga* es el carrier por excelencia en la encapsulación de aromas, ya que es capaz de retener volátiles con gran eficiencia sin aportar un sabor propio pero, desafortunadamente, a un coste demasiado elevado.

La posibilidad de combinar no sólo la composición del aroma sino el método y el soporte de encapsulación, tiene como resultado una enorme capacidad de “personalización” del aroma final.

1.5.4. Clasificación de los aromas de acuerdo con la legislación vigente

Muchos de los aromas que se utilizan en producción animal no están específicamente fabricados para su utilización en alimentos para animales sino que tienen como objetivo la alimentación humana. Este es el caso de los aromas que se emplean en el presente trabajo. Dado que existe la posibilidad de que estos aromas se utilicen en un futuro en acuicultura, es interesante garantizar un uso seguro de estos aditivos desde el punto de vista del consumidor. Con este fin resulta interesante conocerlos desde el punto de vista legal. Se hallan clasificados como aditivos pero, dadas sus características especiales, existe una legislación específica que regula su uso, la cual se revisará brevemente a continuación.

Las actuales definiciones de los diversos tipos de aromas son resultado del consenso entre diversos estamentos, a saber, I.O.F.I. (International Organization of the Flavour Industry), el Consejo de Europa y las diferentes instituciones responsables de los países miembros de la CE. Actualmente se encuentran reflejadas en la correspondiente Directiva Europea (Diario Oficial de las Comunidades Europeas nº. L 184, 15.7.88) y en el Codex Alimentarius. Se ha creado además un inventario de sustancias y materiales de base para la preparación de aromas, que incluye más de diez mil especies botánicas y más de dos mil especies zoológicas (Decisión del Consejo nº. L 184/67, 15.7.88).

La legislación española actual entiende por *aroma* la siguiente definición que se transcribe literalmente a partir del R.D. 1477/1990 del 2 de noviembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria de los aromas que se utilizan en los productos alimenticios y de los materiales de base para su producción, Artículo 2º:

2.1. Aroma.- las sustancias aromatizantes, las preparaciones aromatizantes, los aromas de transformación, los aromas de humo o sus mezclas.

2.2. Sustancias aromatizantes.- una sustancia química definida que pose propiedades aromatizantes y

2.2.1. Obtenida por procedimientos físicos apropiados (incluidos la destilación y extracción por disolventes) o procedimientos enzimáticos o microbiológicos a partir de la materia vegetal o animal en estado natural o transformada para el consumo humano por procedimientos tradicionales de preparación de productos alimenticios (incluidos el secado, el tostado y la fermentación).

2.2.2. Obtenida por síntesis química o aislada por procesos químicos y químicamente idéntica a una sustancia presente de manera natural en una materia vegetal o animal, tal como se describe en el punto 2.2.1.

2.2.3. Obtenida por síntesis química, pero no químicamente idéntica a una sustancia presente de manera natural en una materia de origen vegetal o natural, tal como se describe en el punto 2.2.1.

2.3. Preparación aromatizante.- Un producto distinto de las sustancias definidas en el punto 2.2.1., concentrado o no, que posee propiedades aromatizantes y obtenido mediante procedimientos físicos apropiados (incluidos la destilación y la extracción por disolventes) o enzimáticos o microbiológicos a partir de materias de origen vegetal o animal, en estado natural o transformadas para el consumo humano, por procedimientos tradicionales de preparación de productos alimenticios (incluidos el secado, el tostado y la fermentación).

2.4. Aroma de transformación.- Un producto obtenido, según técnicas correctas de fabricación, por calentamiento a una temperatura no superior a 180°C, durante un período de tiempo que no exceda de quince minutos, de una mezcla de ingredientes que no posean necesariamente propiedades aromatizantes y de los cuales uno al menos contenga nitrógeno (amino) y otro sea un azúcar reductor.

2.5. Aroma de humo.- Un extracto de humo utilizado en los procedimientos tradicionales de ahumado de los productos alimenticios.

A los productos descritos en el punto 2.2.1. se les denominan sustancias aromatizantes *naturales*, a los descritos en 2.2.2. sustancias aromatizantes *natural-idénticas* y finalmente a los descritos en el punto 2.2.3. sustancias aromatizantes *artificiales*. En contraste con la legislación europea, en E.E.U.U. sólo se reconocen dos categorías de sustancias aromatizantes, las naturales y las artificiales, incluyendo ésta segunda a las naturales idénticas.

Finalmente, el aroma utilizado en cualquier aplicación puede estar constituido por una mezcla de todas las sustancias descritas en los puntos anteriores debiendo constar su composición cualitativa en la tarjeta de especificaciones exigida por la ley.

OBJETIVOS DE LA TESIS

Tomando como punto de partida la utilización de aromas comerciales para modificar la palatabilidad de los piensos como práctica de eficiencia contrastada en producción ganadera tradicional, y considerando las exigencias organolépticas de los lenguados como un obstáculo para su plena incorporación al sector productivo de la acuicultura, esta tesis se plantea como **objetivo global**:

La evaluación de los posibles cambios en la aceptación de piensos experimentales cuyas características organolépticas han sido modificadas mediante la incorporación de un aroma comercial. El estudio de los cambios que el aroma comercial puede producir se materializa en dos grandes aspectos: por una parte, el comportamiento y por otra, los parámetros productivos de mayor interés, es decir, el crecimiento, la supervivencia y la dispersión de tallas.

Así pues el objetivo global se estructura en dos **objetivos específicos**:

- 1. Evaluación del efecto de la incorporación de aroma sobre la conducta alimentaria de la especie:** Para evaluar posibles cambios en la conducta alimentaria del lenguado es preciso establecer una metodología que permita ponerlos en evidencia de forma cualitativa y también cuantificar la magnitud de cada cambio. Para ello se desarrolla una metodología etológica específicamente adaptada a la conducta del lenguado frente al alimento que se aplica mediante tests a corto plazo. Se evalúa la adecuación de la metodología al objetivo planteado y los resultados se utilizan para escoger la presentación más aceptada por los lenguados entre el rango de posibilidades ofertadas.
- 2. Evaluación del efecto de la incorporación del aroma al pienso sobre el crecimiento, la mortalidad y la dispersión de tamaños:** se desarrollan diversas experiencias que permiten valorar finalmente si la

utilización del aroma comercial mejora los parámetros productivos de mayor importancia para el piscicultor, es decir, el crecimiento, la supervivencia y la dispersión de tamaños. Para que los resultados sean potencialmente transferibles al sector productivo los piensos utilizados deben ser homologables a aquellos que se utilizarían en producción industrial, es decir escogiendo unos ingredientes y una tecnología de fabricación habituales en las dietas comerciales. El mismo criterio debe ser válido para la elección de los parámetros de manejo de los cultivos, de este modo los resultados pueden permitir una estimación aproximada del posible rendimiento del lenguado en condiciones que podrían considerarse similares a las de un cultivo industrial.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

El capítulo 1 constituye la Introducción general. En ella, tal como ya se ha visto, y aparte de introducir la situación del lenguado desde el punto de vista de la investigación, la producción y el mercado, se pretenden establecer los primeros pasos necesarios para evaluar el efecto de un aroma en un pienso para lenguado, a saber, (1) conocer el perfil trófico de la especie para determinar adecuadamente el tipo de aroma que puede ser más interesante, (2) describir la conducta alimentaria específica del lenguado así como los factores que afectan a dicha secuencia, (3) identificar las sustancias organolépticamente activas tanto para los peces, en general, como para el lenguado, así como realizar una revisión bibliográfica sobre los compuestos que han ensayado previamente diversos autores y los resultados reportados en la bibliografía y (4) definir el concepto de *aroma*, tal como se utiliza en la industria de los aromas comerciales y en el presente trabajo, y describir brevemente sus aplicaciones más habituales.

Cada uno de los objetivos específicos constituye el sujeto de los dos capítulos siguientes que incluye la tesis. Tanto la primera como la segunda parte se estructuran siguiendo los apartados clásicos de Introducción, Material y métodos, Resultados y discusión y Conclusiones.

En el Capítulo 2 se desarrollan, en primer lugar, los criterios considerados para el diseño del etograma utilizado para detectar y cuantificar cambios en la conducta alimentaria del lenguado en condiciones de cautividad. En segundo lugar, se evalúa la idoneidad de dicho método para la observación de los peces en las condiciones experimentales de que se dispone. Y por último, se valoran los resultados obtenidos frente a diversos piensos experimentales para evaluar la aceptación del aroma. Dichos resultados se emplean para formular los piensos a utilizar en experiencias posteriores.

En el Capítulo 3 se describen los resultados obtenidos en experiencias a medio plazo comparando piensos con aromas frente a piensos control. En los diversos ensayos se utilizan lotes de peces de diferentes edades y en diversas condiciones experimentales. La eficacia de la incorporación de aroma se comprueba sobre la base del crecimiento y también la reducción de la mortalidad y dispersión de tamaños en los lotes,

en las condiciones en las que se realiza cada experiencia. El capítulo se estructura de tal modo que para cada experiencia se describen individualmente las condiciones de realización así como los resultados obtenidos con una breve discusión de los mismos cuando se considera pertinente. Al final del capítulo se desarrolla una discusión conjunta de los resultados obtenidos en todas las experiencias y se elaboran unas conclusiones.

En la Conclusión general de la tesis se integran y relacionan las conclusiones del segundo y tercer capítulo, lo que permite plantear las futuras perspectivas de aplicación de los resultados obtenidos.

Todos los piensos utilizados en el presente trabajo, con la excepción de la presentación comercial que se utiliza como control externo, se han formulado y fabricado específicamente para esta tesis. En el Anexo se describe detalladamente la composición de las materias primas utilizadas para la formulación de las dietas experimentales, así como los resultados de las analíticas químicas de los piensos experimentales. Asimismo se aportan los resultados obtenidos en las pruebas físicas realizadas con los piensos experimentales para evaluar su estabilidad en el agua.