

## ASPECTOS BIOTECNOLÓGICOS GENERALES DEL CULTIVO DE PECES MARINOS DE INTERÉS COMERCIAL

Alberto M. Arias

### 1. ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DEL CULTIVO DE PECES MARINOS

El cultivo de peces marinos a escala mundial ha adquirido en los últimos años una rápida y fuerte expansión, debida a la necesidad creciente de obtención de nuevas fuentes de alimento, especialmente proteínas, que obliga a mejorar las vías de abastecimiento existentes y a buscar nuevas vías.

A pesar de esto, todavía el 90% de los peces que consumimos procede de la pesca y sólo un 9% es cultivado. De estos peces cultivados, 4 millones de toneladas corresponden a especies de agua dulce, mientras que 2 millones de toneladas son de peces marinos. Entre los peces de agua dulce la producción se basa, en el 80% de los casos, en carpas, y entre las especies marinas, en seriola y anguila, principalmente.

La piscicultura marina no tiene aún las dimensiones económicas de las de agua dulce o la de especies anfibióticas en agua salobre o marina. Esto se debe, sobre todo, al

dominio logrado en las técnicas de producción de alevines.

En la mayoría de los cultivos de peces marinos la práctica profesional se limita a recoger los alevines de la naturaleza y a engordarlos con diversos sistemas y alimentos. Tales aportes de alevines parecen ser insuficientes en muchos casos, ya sea por su carácter aleatorio, o porque los alevines son muy frágiles y resisten mal la captura y el transporte, o porque ciertas condiciones de la recolección, como época y lugar, no son compatibles con la puesta en marcha de una producción programada.

Es por ello que en las dos últimas décadas se ha realizado un considerable esfuerzo científico y técnico para poner a punto centros de producción artificial de alevines de especies seleccionadas, con los que complementar las producciones naturales y mejorar los rendimientos de los cultivos.

La producción en masa de alevines necesita considerables requerimientos materiales y humanos y, en la mayoría de las especies de interés comercial está aún a nivel de investigación o de escala piloto. No existen todavía más que dos especies donde la producción controlada de alevines empieza a ser competitiva frente a las cantidades de juveniles pescados en el mar: la dorada japonesa, Chrysophrys major, y la lubina, Dicentrarchus labrax.

El punto clave de la producción de alevines de peces marinos ha sido y sigue siendo el cultivo de las larvas. La experiencia demuestra que, por regla general, un cultivo es tanto más delicado cuanto más pequeña es la larva en su nacimiento, cuanto más elevado es su nivel trófico y cuanto más larga es su vida larvaria.

Las larvas de peces marinos se ajustan bastante bien a este esquema, puesto que, sin contar con raras excepciones como la del halibut (Hippoglossus hippoglossus), tallas de 3 a 5 mm. y pesos inferiores a 1 mg. son frecuentes en el nacimiento; las larvas son carnívoras o preferencialmente herbívoras y la duración de su vida larvaria no suele ser inferior a un mes.

El análisis de los progresos que se han realizado en materia de cultivo larvario pone en evidencia, como factor

limitante esencial, el aprovisionamiento de cantidades suficientes de un alimento adecuado, sin olvidar, evidentemente, otros factores como las condiciones de cultivo o los problemas patológicos, aunque estos son limitantes sólo en contadas ocasiones.

Por lo que respecta al cultivo restringido o semicultivo, los primeros países productores de peces de consumo son los de Extremo Oriente, donde a través de los siglos, las civilizaciones chinas, japonesas e indonésicas han llevado al más alto grado el cultivo de algunas especies de peces, principalmente, en agua salobre.

En algunos países europeos y de América del Norte se obtienen resultados económicamente interesantes con algunas especies y los costos empiezan a tener favorables características respecto a los de las capturas tradicionales. Tal ocurre en USA, Italia, Francia, Inglaterra, Noruega, Alemania e Israel, donde se han logrado importantes avances en las tecnologías de producción intensiva y semiintensiva. En Latinoamérica el cultivo de peces está pobremente desarrollado y en Africa y Australia no existe tradición en este tipo de actividades.

Los niveles más bajos de producción se obtienen en sistema extensivo, con niveles generalmente próximos a 100 kg/Ha, y los más altos en sistema intensivo, con valores normales de 100.000 kg/Ha, que en ocasiones llegan a 280.000 kg/Ha. Pero el sistema comunmente utilizado es el semiintensivo, alimentando a los peces con comida suplementaria y/o fertilizando el agua. Con este sistema se obtienen producciones de 1.000 a 5.000 kg/Ha.

Si nos planteamos una visión de futuro, las previsiones del cultivo de peces marinos y del cultivo de peces en general, son positivas y por varios motivos. Los costes de producción descienden cada vez más y continuarán bajando mientras se aumente el abanico de especies rentables. La competencia del pescado cultivado se centra en los productos de la pesca tradicional y los productos animales de la ganadería. Tras milenios de domesticación se ha logrado un alto perfeccionamiento en la producción de animales terrestres, pero la cadencia de perfeccionamiento está frenándose, ya

que se ha llegado al máximo de la asíntota biológica.

Las expectativas de la piscicultura son por ello prometedoras, puesto que el cultivo de peces se encuentra, en la mayoría de los casos - si exceptuamos a los países asiáticos - en el comienzo de la función productiva. Además, la eficacia de los peces como transformadores de energía y de materia nutritiva primaria puede situarlos en una curva de nivel superior que la de los animales terrestres, debido a que: a) flotan, su esqueleto representa poco del peso total, lo que quiere decir que la mayor parte del alimento que toman se emplea en fabricar carne; b) son de sangre fría y no necesitan energía para mantener una temperatura corporal constante; c) se pueden cultivar tanto en sentido "vertical" como "horizontal" y por ello el rendimiento por metro cúbico es más elevado.

Con esta creciente superioridad sobre los animales de la ganadería en la producción de proteínas, el pez cultivado costará progresivamente menos que la carne de vaca, de carnero o que los huevos, por ejemplo. Respecto a los productos de la pesca tradicional que dependen de la disponibilidad de caladeros, de los derechos de acceso a estos caladeros y del coste de la captura, el pez cultivado tendrá un valor añadido considerablemente inferior, debido a su menor riesgo de obtención y a su ventajosa normalización.

El pez cultivado permitirá un mayor perfeccionamiento del procesado, cuando el suministro sea regular, no estacional, y consistente en peces de talla normalizada. En su momento el abastecimiento del pez cultivado será programable, lo que disminuirá el factor de riesgo y la necesidad de utilizar al comerciante.

El evidente declive de la pesca, sin presión alguna de los piscicultores, añade urgencia a la situación de lograr nuevas fuentes alimenticias y puestos de trabajo para los pescadores en paro. Para los gobiernos implicados parece lógico, a primera vista, apoyar la expansión de la piscicultura, pero, no obstante, la realidad de la situación política es tal que en muchos países está sucediendo justamente lo contrario. En Dinamarca, por ejemplo, el dinero de que dispone el Gobierno no puede usarse en apoyar a una industria

rival a la pesca, consecuentemente, ha habido un estancamiento en la producción de peces cultivados y durante varios años se han realizado pocas inversiones. En Noruega, el Gobierno ha aceptado que ambas industrias puedan ser complementarias en lugar de competitivas, y numerosos pescadores ganan su jornal como pescadores y como cultivadores de peces.

El coste de las inversiones, operaciones y problemas técnicos y legales pueden constituir el factor crítico que decida el futuro de la piscicultura marina, ya que no parecen existir serias barreras biológicas para el cultivo de un número cada vez mayor de especies. Si el coste del procesado, incluyendo la comercialización, puede mantenerse a niveles razonables, las perspectivas de la piscicultura marina son brillantes. El principal incremento del actual potencial puede ser obtenido por:

- a) Diseñando y construyendo plantas de cultivo polivalentes, donde exista una optimización del medio y del sistema de cultivo así como de las técnicas de reproducción controlada.
- b) Puesta a punto de alimentos compuestos fabricados industrialmente, atendiendo en especial al desarrollo de sustancias disueltas para las fases larvarias, que aseguren un crecimiento óptimo en las mejores condiciones de rentabilidad y mantenimiento de las cualidades organolépticas.
- c) Utilización óptima de los afluentes de plantas eléctricas, térmicas y nucleares, tanto por su elevación de temperatura como por sus rendimientos.
- d) Minimizando las pérdidas debidas a enfermedad, predación y canibalismo.
- e) Maximizando las propiedades genéticas deseables, como rápido crecimiento, alta resistencia al apiñamiento y alta eficiencia en la conversión del alimento.
- f) Aumentando la aplicación de técnicas de policultivo, para conseguir un uso más eficiente de la masa de agua, de la mano de obra, de las instalaciones y del alimento, y adaptando especies de agua dulce a salinidades crecientes.
- g) Aumentando la cooperación, especialización e integración

entre los países implicados en aspectos como la captura, cría y engorde de estados juveniles hasta tamaño comercial, el control de las enfermedades y la producción de alimentos.

Sea cual sea la forma de explotación adoptada, el desarrollo de la piscicultura marina no debe ser objeto de entusiasmos desmedidos ni tampoco de renunciaciones. Numerosos problemas apenas están aún abordados, sobre todo en genética y patología. Pero mientras la contaminación del mar progresa, los signos de sobrepesca se multipliquen, las necesidades de proteínas aumenten y el atractivo de los productos del mar se fortalezca, el cultivo de peces aparecerá mas como una realidad que como una elección de azar, donde convendrá asegurar el éxito en vez de adular o minimizar los resultados.

## 2. CONCEPTOS SOBRE TIPOS DE SISTEMAS DE CULTIVO UTILIZADOS

El cultivo de peces implica la intervención del hombre en el ciclo biológico (sin tener en cuenta la pesca o recolección) de una especie. Se caracteriza por las diferencias existentes entre los distintos sistemas utilizados de acuerdo con el grado de complejidad introducido, tanto en el aspecto biológico, como en los aspectos técnico y económico, según la región, las especies implicadas y los objetivos perseguidos.

De una manera general se distingue entre CULTIVO INTEGRAL = CULTIVO COMPLETO, cuando para llegar al pez de consumo se recorren y controlan todas las fases del desarrollo embrionario y postembrionario de la especie a cultivar (huevo - larva - alevín - adulto), y CULTIVO RESTRINGIDO = SEMICULTIVO, cuando se controlan sólo las últimas fases del desarrollo, generalmente a partir de los alevines.

A pesar de la diversidad de materiales y de métodos existentes, podemos distinguir dos etapas principales en el proceso de cultivo de un pez, a saber: la obtención de juveniles y el engorde. En algunas especies, como las de salmónidos, suele incluirse una tercera etapa, que es el afinamiento.

En los cultivos completos la obtención de juveniles se hace normalmente mediante el control de la reproducción de genitores cautivos. En los semicultivos los alevines proceden de pescas en el mar con diversos sistemas activos o pasivos.

El engorde tiene por objeto llevar a los animales en cultivo desde el estado juvenil al estado de comercialización. Para ello se suelen practicar tres modos de explotación: EXTENSIVA, SEMIINTENSIVA e INTENSIVA.

Los cultivos extensivos, considerados como piscicultura de mantenimiento, son llevados a cabo sin realizar aportes exógenos de alimento a los peces y sin fertilización del medio; persiguen mantener un equilibrio natural y estable dirigido en provecho del hombre. En este sistema son de destacar los cultivos que se basan en la captación de alevines nacidos cerca de la costa que, atraídos por diferencias de temperatura y salinidad, se establecen en aguas poco profundas de las zonas litorales, que se constituyen así en criaderos naturales. Este sistema de cultivo se encuentra repartido por todo el mundo, más o menos perfeccionado, siendo de destacar por su proximidad los "reservorios de peces" y los "esteros" en el litoral atlántico francés y español respectivamente.

Como cultivos semiintensivos se consideran aquellas explotaciones en las que los estanques de engorde son enriquecidos con alimentos que son consumidos directamente por los animales (además de las presas que encuentran en el medio), o con abonos que favorecen el desarrollo de algas aprovechadas por los peces herbívoros, distinguiéndose así entre cultivos semiintensivos complementados y cultivos semiintensivos fertilizados.

La fertilización de los estanques se realiza por procedimientos muy variados, pero, generalmente, está asociada con un desecado periódico de los estanques de cultivo seguida de un labrado del suelo, como el encalado que se usa en ostricultura. En pisciculturas modernas de Estados Unidos, Europa e Israel se utilizan abonos químicos; en Indonesia los estanques son enriquecidos con aguas residuales de origen doméstico.

La fertilización debe tender no sólo a favorecer el desarrollo de las algas, sino a dirigirlo selectivamente. Así, la abundancia de fitoplancton, sobre todo de cianofíceas, es un índice de alta productividad, al contrario que el desarrollo de algas verdes, que es señal de eutrofización y anuncia la instalación de un equilibrio ecológico frágil, donde la ruptura, frecuentemente brutal, va acompañada de una caída rápida del contenido en oxígeno disuelto y de mortalidades elevadas de los animales en cultivo.

Los aportes directos de alimento son de uso muy frecuente y también antiguo. Esquemáticamente se pueden distinguir tres modalidades: el suministro de vegetales frescos, de desechos de pescado y de alimento sintético.

La adición de hojas, desechos triturados, etc, es ampliamente utilizada en el cultivo de tilapias. El exceso de alimento, que no se consume, contribuye a la fertilización del fondo. Cuando se trata de carnívoros se emplea como alimento pescado de baja calidad, ya sea vivo o muerto. El aporte de alimento sintético, como gránulos secos fabricados industrialmente, está muy desarrollado en los cultivos de especies de agua dulce y está empezando a desarrollarse en cultivos marinos. La dificultad de la alimentación de los carnívoros radica en la necesidad de suministrar un alimento rico en nitrógeno (35-50% de proteínas), por lo que es necesario controlar exactamente las raciones.

El cultivo intensivo deriva, lógicamente, del cultivo semiintensivo complementado, ya que la totalidad del alimento disponible por los peces es suministrado artificialmente. En estos cultivos se busca un rendimiento metabólico máximo, sin preocuparse de mantener un equilibrio ecológico, asegurando con una circulación rápida del agua la evacuación de los desechos y el aporte de oxígeno.

El engorde según el método intensivo está ligado a la fabricación de alimentos compuestos, por lo que el establecimiento de fórmulas alimenticias convenientes es objeto de un gran esfuerzo de investigación.

Los métodos extensivos son más utilizados en salmicultura y truticultura. Los japoneses utilizan este sistema con la anguila, pero el cultivo intensivo de peces marinos

no está aún muy desarrollado. El principal factor limitante está en la puesta a punto de un alimento compuesto bien equilibrado.

De una manera resumida, las características que diferencian los cultivos extensivos de los intensivos, son las siguientes:

#### EXTENSIVO

- Bajo grado de control (medio, nutrición, predadores, competidores, enfermedades).
- Bajo costo inicial, bajo nivel tecnológico y baja eficiencia de producción.
- Alta dependencia del clima local y de la calidad del agua.
- Uso de aguas naturales (lagunas, esteros, cerramientos).
- Fundamentalmente especies herbívoras.

#### INTENSIVO

- Alto grado de control.
- Alto costo inicial, alto nivel tecnológico y alta eficiencia de producción.
- No dependen del clima y de la calidad del agua.
- Uso de sistemas artificiales (tanques, estanques, cajas, canales).
- Máxima producción en mínimo espacio de agua.
- Fundamentalmente especies carnívoras, resistentes al afinamiento.

Por último, el afinamiento o tercera etapa de algunos cultivos, se ocupa de preparar el producto final con objeto de aumentar su valor comercial. Consiste, generalmente, en una modificación de las últimas etapas del engorde, mediante cambio de régimen alimentario, trasvase a un medio de salinidad diferente, etc., destinado a modificar la pigmentación o el sabor de los peces.

Por otra parte, se diferencian también de acuerdo con el número de especies en producción. Así, cuando se produce una sola especie en una unidad de cultivo determinada, siendo indiferente que se trate de un estanque, un canal, una caja u otro tipo de recipiente, el cultivo se denomina MONOCULTIVO. Se entiende por POLICULTIVO la cría de dos o más

especies en cada unidad de cultivo. Esta última práctica goza de gran popularidad en todo el mundo, ya que permite criar juntas especies con diferentes hábitos alimentarios y sacar partido a cada uno de los nichos tróficos del estanque. Los policultivos llegan a ser menos prácticos a medida que el cultivo se hace más intensivo.

En los estanques de monocultivo los peces son criados usualmente sin utilizar todas las partes del medio. Por ejemplo, el cultivo de especies de fondo deja desocupada la mayor parte de la columna de agua. En un intento de aumentar la producción los animales pelágicos deben ser criados junto a los de fondo. Las dos o más especies que coexisten en policultivo deben, naturalmente, ser compatibles. Los chinos han desarrollado el policultivo hasta un elevado nivel práctico (aguas salobres), utilizando cuatro o más especies de peces comedoras de bentos, zooplancton, fitoplancton y macrófitas acuáticas. La densidad de mantenimiento de cada especie en policultivo es, por lo general, similar a la que es apropiada cuando se las produce en monocultivo.

A continuación, después de estas consideraciones generales, necesarias para fijar ideas, pasaremos revista más detallada a los principales aspectos del cultivo de peces en relación con las distintas modalidades expuestas.

### 3. EL CONTROL DE LA REPRODUCCION EN CAUTIVIDAD

#### 3.1. Introducción

Desde que en la década de los años 30 del presente siglo investigadores brasileños y rusos consiguieron inducir la puesta en cautividad a diversas especies de agua dulce mediante la administración de hipófisis de peces y otros preparados hormonales con actividad gonadotropa, la reproducción de peces en condiciones controladas ha adquirido un gran desarrollo y se ha aplicado también y con éxito a los peces marinos. Los métodos empleados permiten adelantar, retrasar y ampliar el periodo natural de puesta y posibilitan la obtención de híbridos con características de creci-

miento, resistencia y calidad superiores a las de sus progenitores.

Actualmente, la obtención de cantidades masivas de huevos fecundados de muchas especies comerciales (dorada, lubina, lenguado, rodaballo) es posible de manera rutinaria. El método de obtención que mejores resultados proporciona es la utilización de reproductores mantenidos en cautividad aclimatados a las condiciones de laboratorio. También se utilizan con éxito reproductores de captura reciente, pescados durante su época de freza. En el primer caso, lo normal es que se produzcan puestas espontáneas sin necesidad de estimulación hormonal, aunque también es frecuente asegurarse la puesta con una dosis de GCH. En el segundo caso es casi obligado el estímulo de GCH externa para conseguir la puesta. Cuando se utilizan reproductores cautivos durante largo tiempo, las respuestas al tratamiento hormonal son irregulares, lo que hace que sea preciso capturar nuevos individuos del medio natural. Es posible que esta falta de respuesta al tratamiento sea debida a la acumulación de anticuerpos anti GCH.

Otros métodos de obtención de huevos fecundados son las pescas planctónicas en el mar y la extracción por masaje abdominal a los reproductores, ya sea en el momento de la captura en el mar o tras la estimulación hormonal en el laboratorio. El empleo de huevos procedentes del plancton marino precisa de pocas instalaciones en tierra y elimina el uso de los reproductores. Sin embargo, este método ofrece pocas posibilidades, pues, por una parte, es necesario conocer las áreas y épocas de puesta de las especies de trabajo y, por otra, no siempre pueden conseguirse cantidades suficientes de huevos para una producción elevada de alevines. Lo mismo ocurre con la fecundación artificial a bordo del barco de pesca, ya que es muy difícil conseguir hembras en el momento de la puesta, que suele ser un acto fugaz. Con mucha frecuencia se elige también la extracción de los huevos por masaje abdominal en el laboratorio, lo que permite controlar las emisiones, estimar la producción de larvas, estimar las necesidades de producción de alimento para ellas y conocer la fecundidad de los reproductores. El principal

inconveniente de este método estriba en la excesiva manipulación a que se somete a los reproductores, lo que es causa de algunas bajas, y en que la viabilidad de los huevos emitidos suele ser irregular, debido a que se liberan, forzosamente, huevos en diferente estado de desarrollo.

Para todas las especies es interesante definir el periodo de reproducción y las disponibilidades de huevos y embriones. Para ello son posibles varias estrategias, como conservar durante largo tiempo los gametos y los embriones; esto es posible hoy día en el caso del esperma solamente; también se puede adelantar o retrasar las puestas según las necesidades, manipulando los factores ambientales.

### 3.2. Tipos y efectos de las hormonas utilizadas

El control endocrino de la reproducción en peces se realiza, como en otros Vertebrados, a través de las hormonas secretadas por el sistema hipotálamo - hipófisis - gonada. Por otra parte, el ciclo reproductivo de la mayoría de los Teleósteos está controlado por factores ambientales que funcionan como disparadores del sistema.

Las secreciones de la hipófisis están reguladas por el hipotálamo a través de los "releasing factors". El hipotálamo recibe directamente las variaciones ambientales y es un enlace entre el medio externo y el interno. Las variaciones externas son cíclicas y el organismo responde también de una manera cíclica, adecuando las variaciones fisiológicas de forma que los mecanismos reproductores y de supervivencia alcanzan las máximas posibilidades de éxito ante unas condiciones ambientales dadas. La adaptación a un conjunto concreto de factores ambientales es fruto de un proceso evolutivo.

En las células glicoproteicas de la "pars distalis" proximal de la hipófisis de los Teleósteos se localiza la secreción de hormonas gonadotropas (GTH). Estas gonadotropinas hipofisarias actúan sobre las gónadas estimulando la producción de esteroides sexuales, que tienen una doble misión. Por una parte, regulan el desarrollo madurativo de las gónadas y, por otra, regulan la secreción de gonadotro-

pinas, actuando directamente sobre la hipófisis e indirectamente sobre el hipotálamo, impidiendo la secreción de los "releasing factors".

Mientras unos autores apoyan la teoría de un solo grupo de células gonadotropas, otros admiten la existencia de dos grupos. Uno que secretaría FSH, estimulando al folículo e induciendo la formación de vitelo y otro que secretaría LH, actuando sobre la ovulación. Esta última teoría parece ser la más exacta, pues se ha visto que extractos de hipófisis de peces inician la vitelogenénesis en ejemplares en fase de reposo sexual.

En este esquema de control endocrino de la reproducción en Peces pueden existir, por tanto, tres niveles posibles de intervención para inducir la puesta: las gónadas, la hipófisis y el hipotálamo. En el primer caso se trata de una acción directa mediante el suministro exógeno de gonadotropinas. En los otros dos se trata de una acción indirecta, pues se pretende desencadenar la producción de gonadotropinas endógenas, actuando sobre la hipófisis con extractos de hipotálamo que contengan "releasing factors" o bien sobre los centros nerviosos superiores mediante la manipulación de los factores ambientales y por mecanismos de feedback con esteroides.

Los preparados gonadotropos han sido durante mucho tiempo, y con diferencia, las sustancias más utilizadas con fines prácticos en Acuicultura; destacan varias gonadotropinas de Mamíferos (LH, FSH, HCG, HMG, PSMG) disponibles comercialmente como preparados farmacéuticos, y los extractos desecados de hipófisis de peces, principalmente de carpa. Las hormonas de Mamíferos presentan muchas veces resultados irregulares, y su precio se ha ido encareciendo de modo considerable. La extracción de hipófisis supone disponer de un elevado número de donantes; además, de su utilización parece desprenderse que existe cierto grado de especificidad de las gonadotropinas, quizás a nivel de familias.

Los esteroides sexuales tienen poca aplicación práctica, dado el efecto inhibitor que ejercen en la hipófisis de los ejemplares adultos; su uso es, sin embargo, útil en juveniles, con el fin de adelantar y/o controlar la primera

maduración.

Las hormonas hipotalámicas han tenido también poca aplicación, debido principalmente a que la única disponible hasta no hace mucho era la LHRHR sintética de Mamíferos, de efecto irregular y, a veces, contraproducente.

Sin embargo, la manipulación de factores ambientales como fotoperíodo, temperatura, salinidad y nutrición, es una de las vías de intervención directa sobre el hipotálamo muy utilizada en la práctica.

En las regiones templadas la creciente o decreciente longitud del día determina el inicio de la maduración de los gametos y la puesta. El fotoperíodo desencadena el proceso madurativo, de forma que con un fotoperíodo adecuado se puede inducir la puesta natural en épocas muy alejadas de la que es propia a la especie.

Condiciones adecuadas de temperatura son un requisito previo para permitir a la luz afectar a la maduración y liberación de los gametos. Si la gametosis está esencialmente determinada por la luz, la oviposición lo está por la temperatura. Ningún pez pone a altas o bajas temperaturas. La temperatura tiene influencia también sobre el comportamiento del cortejo sexual y sobre las migraciones de puesta.

Cualquiera que sea la especie, el desencadenamiento de la puesta no depende probable ni exclusivamente de los ciclos de luz y temperatura a que se somete a los peces. La influencia sobre los niveles de alimentación debe ser tenida muy en cuenta, ya que se ha visto que una alimentación deficiente provoca carencia de aminoácidos esenciales al final de la maduración y conduce a atresia de los ovocitos. La nutrición afecta también al número de huevos producidos por cada hembra, a la calidad de los mismos y a la viabilidad de las larvas.

La salinidad es un factor importante para muchas especies, ya que actúa sinérgicamente con las hormonas sexuales. En algunos mugílidos, por ejemplo, no se llega a un completo desarrollo gonadal cuando se les mantiene en agua dulce.

El interés de controlar la reproducción de los peces a cultivar es evidente con estos sistemas, pues entre otras ventajas permiten la posibilidad de obtener gametos durante

un período más largo, lo que representa la posibilidad de cultivar varias series sucesivas de alevines en los mismos tanques con una obtención planificada de gametos.

### 3.3. Técnica de estimulación hormonal de la puesta

#### 3.3.1. Reproductores

De una manera general, en todo cultivo completo controlado los reproductores son el punto de partida insustituible, por lo que es preciso extremar las medidas para capturarlos, mantenerlos y tratarlos.

La formación de un buen stock de reproductores, equilibrado en sexos e integrado por un número suficiente de ejemplares adaptados a la cautividad es uno de los aspectos más importantes, ya que de él dependen la calidad de los gametos que se obtengan.

Los reproductores se capturan en el medio natural con diversos artes de pesca, pero el que mejor resultados proporciona es la pesca con anzuelo; el trasmallo y el arrastre ocasionan abundante pérdida de escamas y heridas que rápidamente se infectan y acaban en la muerte del animal.

Los reproductores se transportan en recipientes de diverso tipo, pero que, generalmente, se procura que no tengan ángulos marcados y que sean ligeros. El problema fundamental del transporte de los reproductores desde el lugar de captura hasta el laboratorio es la oxigenación del agua. Para ello lo más frecuente es la difusión de aire con compresores portátiles. La carga de peces que se transporta no debe ser muy elevada y depende también del tamaño de los ejemplares y de la temperatura del agua. Normalmente se trabaja con unos 5 Kg. por cada 100 litros de agua. En los trayectos largos los peces suelen ser transportados bajo el efecto de un anestésico a baja concentración.

Los tanques que se utilizan para el mantenimiento de los reproductores a su llegada al laboratorio tienen una capacidad variable (10 a 40 m<sup>3</sup>) y están situados indistintamente en instalaciones interiores y exteriores. Estos tanques funcionan siempre en circuito abierto y cuando se

trabaja con puestas espontáneas disponen de un rebosadero al que va adosado un colector de huevos, en el que quedan depositados tras su emisión y fecundación.

Cuando se utilizan puestas espontáneas, en estos tanques se mantienen juntos a machos y hembras. En el caso de trabajar con puestas obtenidas por masaje abdominal, en unos tanques se mantiene sólo a los machos y en otros a las hembras.

### 3.3.2. Administración de hormonas

Tanto si se emplean puestas espontáneas como puestas forzadas por presión abdominal, la estimulación de la emisión final y de las últimas fases del proceso madurativo de los ovocitos se consigue rápidamente con inyecciones de GCH (gonadotropina coriónica humana).

Las hormonas se administran siempre por inyección intramuscular profunda o por inyección intraperitoneal. En un principio los rusos las administraban intracranealmente. El tratamiento se aplica por lo común sólo a las hembras, ya que los machos maduran por sí mismos sin necesidad de estímulos. Eventualmente pueden ser inyectados cuando se requiere prolongar la emisión de esperma.

La GCH se adquiere en forma de polvo envasado en viales de 500, 1.000, 1.500, 2.000 y 5.000 Unidades Internacionales (U.I.), acompañados de ampollas de 3 cm de solución fisiológica estéril. Las inyecciones se preparan disolviendo la hormona en 0,5 a 1 ml de solución fisiológica, haciendo las diluciones correspondientes según las dosis requeridas y el número de ejemplares a tratar en cada momento.

El material de inyección se compone de jeringuillas de polietileno de 1, 2,5 y 5 cm, graduadas, y agujas de 0,6 mm de diámetro y 40 mm de longitud. Cuando se practica la inyección intramuscular la zona más corrientemente elegida es la parte posterior de la aleta dorsal más próxima a la cola, donde se introduce toda la longitud de la aguja entre las dos masas musculares dorsales. En todos los casos se inyecta muy lentamente el producto, con el fin de evitar la formación de nódulos o que el líquido se salga al exterior.

Para la inoculación de las hormonas los peces son extraídos de los tanques, anestesiados, inyectados y devueltos a los tanques de origen. La extracción de los peces es preferible hacerla por el vaciado previo del agua del tanque, dejando una capa de unos 20 cm de agua, suficiente para cubrir a los peces mientras se les saca. Con ello la extracción es breve y no traumatizante. A continuación se les recoge de uno en uno con salabres y se les traslada en seco a un recipiente que contiene unos 100 litros de una disolución de agua de mar y un anestésico. El producto más empleado es el MS-222 SANDOZ (metasulfonato del m-aminobenzoato de etilo), que suele prepararse a una concentración de 1 gr por cada 10 litros de agua. A estas dosis los peces acusan el efecto del tranquilizante al cabo de 50-60 segundos de inmersión, mostrando torpes movimientos y pérdida del equilibrio. A los dos minutos quedan inmóviles en el fondo del recipiente; entonces se les saca del anestésico y se les coloca en la mesa de operaciones sobre una superficie suave para evitar roces violentos y se les inyecta la hormona en la forma descrita antes. Seguidamente, los reproductores son devueltos a los tanques de origen, donde en 2-3 minutos más se recuperan totalmente.

Las inyecciones se aplican comunmente a días alternos, en dosis crecientes (500, 1.000, 1.500 U.I.), durante unos diez días. Este tipo de tratamiento ha sido usado corrientemente hasta ahora con dorada, lenguado y lubina; sin embargo, en el caso de la dorada se ha comprobado recientemente que la cantidad de GCH necesaria para inducir la maduración de los oocitos, la ovulación y la puesta espontánea, es inversamente proporcional al tamaño de los ovocitos y, por tanto, al estado de vitelogénesis al principio del tratamiento.

### 3.3.3. Obtención de gametos y fecundación

La respuesta inicial de las hembras al tratamiento hormonal, cuando se encuentran en un estado de madurez sexual avanzado, consisten en la dilatación progresiva del abdomen hasta llegar a proporciones realmente espectacular-

res. Este fenómeno es consecuencia de la absorción de agua por los ovocitos antes de que sean emitidos. La hidratación es un signo indudable de evolución hacia la puesta, pero no significa que ésta se produzca o que los huevos sean viables. En la lubina es donde el primero de estos dos hechos se produce con más frecuencia, pues, generalmente, el 50% de las hembras no pone espontáneamente tras el tratamiento. La aparición de atresia ovárica puede ser debida a falta de hormona hipofisiaria, sea por la administración de una dosis insuficiente que no permita desencadenar la ovulación, sea por la interrupción del tratamiento. Dado que en la inducción de la puesta pocas veces se explota el potencial total de la gonada, ya que los peces son obligados (masaje abdominal) a poner antes de que la gonada haya alcanzado su máxima capacidad formadora de vitelo, muchos huevos se reabsorven.

El tratamiento hormonal no debe prolongarse indefinidamente por lo que tiene de estresante. Después de un cierto tiempo se puede producir una reabsorción de productos gonádicos con atresia ovular.

En condiciones normales, la dilatación abdominal comienza a apreciarse entre los 2 y 12 días desde el inicio del tratamiento, como ocurre en la dorada y la lubina, dependiendo del grado de madurez inicial de los ovarios.

La obtención propiamente dicha de las puestas puede efectuarse por masaje abdominal de los reproductores anestesiados o por emisiones espontáneas en los tanques de mantenimiento. La elección de uno u otro sistema depende de muchos factores, como puede ser el comportamiento reproductivo de la especie, el dimensionamiento de las instalaciones, la mano de obra disponible, etc. Las ventajas de cada sistema consisten en que el primero asegura la fecundación, mientras que el segundo reduce la mortalidad de los reproductores, debidas a las manipulaciones.

Cuando se elige trabajar con puestas espontáneas, la fecundación se produce de forma natural en el mismo tanque de puesta. Para ello, desde el principio del tratamiento hormonal, o cuando se ve que las hembras están a punto de iniciar las emisiones, se colocan en los tanques dos o tres machos fluentes por hembra. La presencia de huevos en el

medio estimula a los machos a emitir esperma. En los tanques de puesta es conveniente colocar algún refugio a los peces, como rocas o algún tubo grueso pintado de negro en su interior, de forma que se encuentren tranquilos y no agiten el agua. De esta manera los huevos emitidos sufren una primera separación: los huevos muertos sedimentan y los huevos en desarrollo flotan. Estos últimos pueden retirarse más fácilmente.

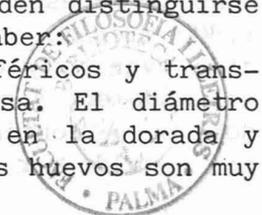
Si las puestas se obtienen por la técnica del masaje abdominal, no es necesario disponer de grandes tanques ni dispositivos de recolección de los huevos flotantes. Lo que sí es preciso es tener a los reproductores separados por sexos en tanques distintos, ya que la mezcla de los productos sexuales se realiza artificialmente y es necesario conocer la calidad y cantidad de los animales con los que se trabaja.

Una vez que el estado de dilatación abdominal de las hembras está suficientemente adelantado se aprecia la posibilidad de obtener huevos. La extracción de los mismos se hace por presión manual suave sobre el abdomen, mediante masajes repetidos en la dirección cabeza cola hasta llegar al poro genital.

Para ello los peces son sacados de los tanques, anestesiados y colocados en el dispositivo para recoger los huevos. Este consiste en un recipiente de vidrio perfectamente limpio, de unos 2 litros de capacidad, que se coloca debajo de una plancha de madera provista de un orificio central de unos 10 cm de diámetro, sobre la cual se apoya el pez. Este se coloca apoyado sobre su flanco derecho y con una mano se le sujeta el dorso y con la otra se aplica el masaje.

Cuando comienzan las puestas la extracción de huevos por este sistema se hace diariamente, una vez por día, recogiendo los huevos que se emiten sólo con una presión suave del abdomen. En la dorada y la lubina pueden distinguirse tres categorías de huevos así emitidos, a saber:

- **Huevos maduros**, que son completamente esféricos y transparentes, con una o varias gotas de grasa. El diámetro medio de estos huevos es de 990 micras en la dorada y 1.200 en la lubina. Las emisiones de estos huevos son muy



fluidas.

- **Huevos inmaduros**, que se caracterizan por ser más pequeños que los anteriores, opacos, con más gotas de grasa que en el estado precedente y tienen forma poligonal. El abdomen de las hembras se presenta compacto y los huevos salen con dificultad.
- **Huevos sobremaduros**, de tamaño muy variable, pero en general, superior al de los huevos de las puestas maduras. No son completamente esféricos y en su interior se observan coágulos que reducen su transparencia. Salen al exterior con facilidad, como los huevos maduros.

La extracción de esperma a los machos se hace también por masaje abdominal, siguiendo las mismas manipulaciones que con las hembras. Los machos maduros producen un esperma blanco lechoso muy denso. Cuando el esperma no está maduro sólo se consigue obtenerlo bajo fuerte presión abdominal y mezclado con sangre. El esperma demasiado maduro es acuoso.

Es necesario disponer, como mínimo, de un número de machos superior al doble del número de hembras, pues para la fecundación artificial se utilizan cuatro o cinco machos por hembra y, algunos de ellos, especialmente los jóvenes, emiten poca cantidad.

En los primeros trabajos de fecundación artificial a gran escala la mezcla de los productos sexuales se hacía en seco, pero recientemente se ha visto que la capacidad de fertilización de los espermatozoides (al menos en dorada y lubina), aumenta cuando la fecundación se realiza en agua de mar diluida. La concentración que mejores resultados da es 20 %.

Para realizar la fecundación artificial se añade a los huevos así tratados el esperma de varios machos, se agita la mezcla con movimientos de rotación suaves durante cinco minutos y se deja en reposo durante 10 a 15 minutos más. Después de este tiempo los huevos se pasan por un tamiz de 1.800 micras, en el que quedan retenidos los restos de tejido ovárico y excrementos que se expulsan por la presión del abdomen, y se recogen en un tamiz de 500 micras colocado debajo. A continuación los huevos se lavan abundantemente con agua de mar filtrada y esterilizada y a salinidad normal

y se eliminan así los restos de esperma y líquido ovárico. Seguidamente los huevos se depositan en cuencos de vidrio, se le añade unos 1.000 cm de agua de mar y se dejan en reposo. En poco tiempo (2-3 minutos) los huevos se distribuyen dentro del agua en dos capas, una flotante en la superficie y otra sedimentada en el fondo del recipiente. Esta última capa, que contiene a la mayor parte de los huevos muertos, inmaduros o no fecundados, se sifona con una cánula de plástico, se cuentan los huevos y se desechan. Después se hace un recuento de los huevos flotantes y se colocan en los incubadores.

#### 3.3.4. Incubación y eclosión

Los métodos de incubación varían según que los huevos sean planctónicos o demersales. Los huevos planctónicos, como los de la dorada y la lubina, quedan flotando al ser puestos en agua de mar a salinidad normal, lo que facilita la separación de los huevos viables de los no viables. Esto permite mantener unas condiciones higiénicas adecuadas. La incubación suele hacerse en recipientes de diversa forma y tamaño cilíndricos o rectangulares, de 10 a 2.000 litros de capacidad. Cuando se usan recipientes pequeños las larvas han de ser extraídas de ellos tras la eclosión y colocadas en los tanques de cultivo. En el otro caso los tanques de incubación sirven también de tanques de cultivo, puesto que las larvas nacen en el mismo recipiente en que se cultivarán. Esto tiene la ventaja de reducir las manipulaciones y, consiguientemente, las pérdidas por mortalidad. La circulación del agua se hace de arriba a abajo, es decir, desde la superficie al fondo. Cuando se usan incubadores cilíndricos, estos van provistos cerca del fondo de una malla de plancton que impide que los huevos sean arrastrados por el agua al exterior del incubador.

Si se trata de huevos no flotantes la circulación se establece de abajo a arriba, con lo que se evita el amontonamiento de los huevos y la falta de oxígeno entre ellos. Esta se consigue con recipientes cilindrocónicos en posición invertida. En general, los flujos de agua deben de ser muy

suaves, ya que una agitación excesiva parece interferir el normal desarrollo de los embriones. El agua debe ser siempre filtrada, esterilizada y mantenida a salinidad y temperaturas constantes o dentro de unos márgenes estrechos. La temperatura es un factor crítico, del cual depende la duración de la incubación: a mayor temperatura la duración de la incubación es menor. En la dorada los huevos eclosionan entre 70 y 80 horas si han sido incubados a 16°C; la incubación dura 48 horas a 18-20°C y unas 36 horas a 22°C.

Los descensos acentuados de salinidad afectan desfavorablemente a la incubación. La flotabilidad de los huevos planctónicos disminuye a medida que lo hace la salinidad del medio, provocando que los huevos en desarrollo se muevan verticalmente en la columna de agua del incubador y entren en contacto con los desechos acumulados en el fondo, siendo atacados por infecciones bacterianas.

Para algunas especies la iluminación constante durante la incubación es otro requisito imprescindible.

#### 4. LOS PROBLEMAS DE LA CRÍA LARVARIA Y EL PREENGORDE

##### 4.1. Introducción

Si el control de la reproducción en cautividad permite la obtención de millones de huevos y larvas, no ocurre lo mismo con el cultivo de estas larvas hasta el estado de juvenil morfológicamente parecido al del adulto. Esto no es debido a la especial fragilidad de las larvas, sino, precisamente, a sus exigencias alimentarias. Las larvas en cultivo no aceptan ingerir más que presas vivas planctónicas, de una talla bien definida según su edad y cuya composición química responda a sus necesidades metabólicas. En ciertas especies se han conseguido criar algunos alevines partiendo de larvas alimentadas con comida inerte, pero la supervivencia ha sido muy baja. Esto se debe a que tales alimentos son deficitarios en algún componente esencial de la dieta y también a dificultades que existen para mantener una buena calidad del agua cuando se le añade gran cantidad de materia orgánica, que entra rápidamente en descomposición si no

es consumida.

Normalmente las larvas tienen una movilidad muy escasa durante los primeros días de vida y, por ello, requieren una densidad de alimento en el agua elevada, para poder capturarlos en sus cortos desplazamientos. De aquí, que cuando se emplea alimento inerte, este deba ser mantenido en suspensión y a una alta concentración, lo cual es incompatible con el mantenimiento de unas condiciones higiénicas óptimas en los tanques de cultivo.

Las presas vivas parecen, por tanto, un alimento indispensable, al menos para las larvas muy jóvenes.

Para obtener alimento vivo a altas concentraciones hay que disponer de unas instalaciones bastante mayores que las requeridas sólo para el mantenimiento de las larvas. El proceso a seguir es crear una cadena trófica de alta productividad, para lo cual lo más eficaz suele ser el cultivo monoespecífico de especies seleccionadas.

La gama de organismos marinos utilizados para la cría de larvas de peces marinos es muy extensa. En ella se incluyen estados larvarios de celentéreos, equinodermos (erizos), moluscos (mejillón, ostra), Crustáceos (Balanus), tunicados, Poliquetos (Nereis, Pomatoceros) y de otros organismos planctónicos como rotíferos (Brachionus plicatilis), copépodos (Euterpina, Tisbe, Trigriopus), branquiópodos (Artemia salina) y protozoos (Fabrea salina, Euplotes, Philaster).

A escala piloto y más aún a escala industrial los grupos de organismos están muy restringidos, hasta el punto de que, en la mayoría de los casos, sólo el rotífero Brachionus plicatilis y el branquiópodo Artemia salina soportan las primeras fases del desarrollo larvario de los peces en cultivo. Esto es debido a que la obtención diaria de puestas para conseguir larvas de otros organismos planctónicos requiere un trabajo considerable y los resultados nunca son seguros o no es posible almacenar los organismos producidos para utilizarlos cuando se precise.

La producción masiva de alimento para las larvas de peces requiere a su vez cultivos de algas con los que alimentar a los organismos presa. El fitoplancton, que es la base de las cadenas tróficas marinas, se utiliza en la mayo-

ría de estos cultivos. Sirve para alimentar al zooplancton, que constituye el alimento de arranque de las larvas de peces.

Sin embargo, no hay que olvidar la importancia, también indirecta, del fitoplancton en el semicultivo de peces a escala industrial, como pueden ser los casos de la cría de anguila en Japón, de milkfish en Indonesia o de los cultivos mixtos de carpas y mugílidos en Israel, por poner sólo unos pocos ejemplos. En estos casos se atribuye al fitoplancton un papel en la mejora de la calidad del agua, basándose en el hecho de que las algas aumentan la concentración de oxígeno y consumen los compuestos nitrogenados como amonio y nitritos.

De acuerdo con estos fenómenos se realizan también cultivos de larvas de peces en cultivos de algas (aguas verdes), pero no existen experiencias rigurosas que demuestren una supervivencia y crecimiento larvarios. De hecho, dado que el alimento fundamental de las larvas de peces en cultivo son los rotíferos y que estos se utilizan a concentraciones elevadas, se produce un gran consumo de algas que son convertidas en desechos a alta velocidad, por lo que el mantenimiento prolongado de un equilibrio entre asimilación y excreción es sumamente problemático. No obstante, algunos autores encuentran cierta ventaja en este sistema de cultivo, como es el hecho de mantener el valor nutritivo de los rotíferos mientras permanecen en el tanque sin ser consumidos.

Las especies de algas cultivadas con fines de piscicultura son todas neríticas, litorales o supralitorales. Las especies oceánicas presentan particulares dificultades para su cultivo, al parecer porque tienen exigencias muy estrictas de tolerancia a las condiciones fisicoquímicas por estar adaptadas a ambientes estables.

Las propiedades que debe reunir un alga para poder ser utilizada en el cultivo de organismos planctónicos residen principalmente en su tasa de crecimiento, que debe ser elevada, y en su capacidad para mantener una elevada densidad del organismo en cultivo (rotífero). Además es preciso tener en cuenta su valor nutritivo, su tamaño y que no sean tóxi-

cas. Así, por ejemplo, el uso de Dunaliella tertiolecta no favorece el crecimiento de las larvas y produce altas mortalidades. El fallo de este alga radica en su carencia en ácidos grasos poliinsaturados, que son un componente dietético esencial. Otras algas, como Isochrysis galbana, cuando crecen a elevada temperatura liberan al medio metabolitos tóxicos.

Existe una amplia lista de especies de algas de utilidad en piscicultura, pero las más frecuentemente empleadas son las siguientes: Tetraselmis suecica, Phaeodactylum tricornutum, Nannochloris oculata, Isochrysis galbana, Monochrysis lutheri; Dunaliella tertiolecta, Skeletonema costatum, Cyclotella nana y Gymnodinium splendens.

A continuación, de acuerdo con el orden cronológico de producción de alimentos vivos para las larvas de peces, describiremos los principales pasos de los procesos de cultivo de fitoplancton, rotíferos y artemia, para finalizar con el modo de utilización de esta cadena trófica y el análisis de las perspectivas actuales.

#### 4.2. Condiciones generales de los cultivos de fitoplancton

El problema del cultivo en masa de fitoplancton mono-específico consiste en determinar y mantener las condiciones necesarias para obtener los máximos niveles de densidad de población, tasas de crecimiento y reproducción, y máxima eficiencia de luz, temperatura y nutrientes.

Los procedimientos adoptados para el cultivo en masa de algas son muy variados en las distintas partes del mundo, pero todos se enfrentan al mismo problema: la contaminación bacteriana o de otros organismos. Esto es así porque la tecnología disponible no permite trabajar con grandes volúmenes de agua estéril a un costo razonable. Por otra parte, la manipulación exigida por estos cultivos es mayor, con lo que aumentan los riesgos de contaminación.

El crecimiento excesivo de una población bacteriana, hace precipitar los cultivos de algas y estos son incapaces de sostener una población de rotíferos. Una densidad elevada

de bacterias es perjudicial para las larvas, porque se liberan metabolitos tóxicos o provoca la mortalidad de las propias algas, que forman grumos y no pueden ser ingeridas por los rotíferos.

Una contaminación de los cultivos de algas suele ser la producida por cianofitas. Estas algas tienen un rápido crecimiento y cuando prosperan abundantemente pueden retardar el crecimiento de los rotíferos.

Hoy día es económicamente imposible la obtención de cultivos estériles de algas en grandes volúmenes. Por ello, la solución adoptada para controlar la calidad bacteriológica de los cultivos consiste en la división en unidades independientes de menor tamaño. Otra parte del éxito corresponde al tratamiento previo del agua de mar destinada a los cultivos.

Un procedimiento típico consiste en una prefiltración a bajo costo, seguida por una filtración en escalones sucesivos, por ejemplo de 15, 5, 1, 0,45 y 0,22 micras. La razón de este escalonamiento se debe a que el coste de la filtración aumenta al disminuir el tamaño del poro del filtro casi en proporción geométrica, por lo que al alargar la vida media de los filtros de menor poro mediante la retención previa de partículas más gruesas, se consigue abaratar el coste. La filtración a 0,22 micras asegura una elevada eliminación de bacterias. A la salida de este filtro puede añadirse una esterilización con lámparas ultravioleta.

La división de los volúmenes de cultivo en unidades independientes permite disminuir el riesgo de contaminación bacteriana al poder disponer siempre de otras unidades. El control bacteriológico a escala industrial puede hacerse de manera aproximada mediante la centrifugación de muestras de los cultivos. Cuando existe contaminación el líquido sobrenadante presenta una turbidez característica y el cultivo correspondiente puede ser descartado.

El mantenimiento de las cepas monoalgales es de primera importancia para conseguir una producción constante. En este caso la esterilización por filtración no ofrece garantías suficientes y es aconsejable mantener las cepas en medio esterilizado en autoclave. Las cepas pueden mantenerse

de varias formas. Es conveniente tener una línea constantemente en renovación. Para ello se mantienen las cepas puras en tubos o placas de agar enriquecido. Periódicamente se toman inóculos y se siembran en medio líquido en volúmenes crecientes, con lo que se renuevan de manera continua las algas en cultivo. Todos los cultivos de pequeño volumen deben mantenerse en medio esterilizado en autoclave.

Como inóculos de cultivos mayores suelen emplearse cultivos crecidos en 10 litros. El sistema de enriquecimiento del agua es muy variado y hay multitud de recetas. En realidad, el suministro de nitrato, fosfato, EDTA, metales traza y tiamina resulta suficiente para las especies ordinariamente cultivadas. Los requerimientos de hierro suelen ser mucho más elevados que los de otros metales y pueden ser limitantes.

Un foco de contaminación posible es el aire que se introduce a los cultivos para evitar que haya una sedimentación de las células, por lo que debe ser filtrado previamente. La regulación de la temperatura es muy importante para mantener unos rendimientos óptimos. En general, las crisofíceas deben ser mantenidas a temperaturas inferiores a 20°C. Las clorofíceas son más tolerantes, pero aunque a una temperatura más elevada aumenta su tasa de crecimiento, también se favorece el crecimiento de las bacterias. La iluminación debe mantenerse entre 2.000 y 3.000 lux, si bien al aumentar la densidad de los cultivos estos niveles pueden llegar a ser deficientes. El control del pH permite conocer el estado de un cultivo; el pH óptimo suele situarse entre 8,2 y 8,7. La presencia de bacterias hace que el pH descienda.

El tipo de recipientes utilizados para los cultivos en masa de algas es muy variado. Los cultivos en recipientes cerrados son, en general, mejor controlados. Puede decirse que tanques de todos los tamaños y formas son útiles. Las condiciones esenciales que deben reunir son ausencia de toxicidad de los materiales y la posibilidad de una limpieza fácil y profunda.

Corrientemente se usan recipientes cilindrocónicos o garrafas de polietileno en posición invertida, a las que se retira el fondo. En estos recipientes se comienza el cultivo

de algas, que es seguido por el cultivo de rotíferos, los cuales van siendo pescados a medida que crecen en densidad y las algas repuestas. La utilización de este sistema a escala industrial es muy engorroso y requiere mucha mano de obra.

En los sistemas europeos frecuentemente se utilizan bolsas de polietileno de un solo uso y de tamaños muy variados, que van desde grandes bolsas de 1.000 litros, sostenidas en una armadura rígida, hasta bolsas de 15 a 20 litros, colgadas de perchas. Estas bolsas son obtenidas prácticamente estériles de fábrica y a través de un orificio en la parte superior se le introducen los nutrientes y la aireación.

En la práctica de rutina las algas son crecidas inicialmente en frascos de vidrio de 10 litros, hasta que alcanzan densidades elevadas, que varían según el tipo de alga (Tetraselmis, 2-3 x 10 cel/ml). Algunos de estos frascos se utilizan como inóculos para los cultivos en masa, sembrándolos en bolsas de polietileno de unos 70 litros de capacidad y otros frascos se inoculan con cultivos de rotíferos a concentraciones de 8-10 rot/ml. Cuando la bolsas de algas han adquirido las concentraciones requeridas, se inoculan con los frascos de rotíferos que han adquirido densidades de 80-100 rot/ml. Estos cultivos de rotíferos en las bolsas son dejados hasta que clarean el medio; entonces se recogen en tamices adecuados y se distribuyen a las larvas de peces. Con este sistema los frascos pueden tener una rotación de 6 días y las bolsas de 6 a 8 días.

El crecimiento de Tetraselmis suecica es el que requiere mayor cuidado, pues con gran facilidad se contamina de bacterias y el alga deja de crecer y forma grumos. El cultivo de Nannochloris no presenta problemas, aún en cultivos envejecidos. El alga Phaeodactylum tricorutum presenta una situación intermedia, siendo más resistente a la contaminación bacteriana que Tetraselmis pero menos que Nannochloris.

La capacidad de estas tres algas para cultivar poblaciones de rotíferos es inversa a su resistencia a la contaminación. Los mejores resultados se obtienen con Tetraselmis, alcanzándose concentraciones de 400 rot/ml. Con Phaeodactylum se suelen alcanzar de 180 a 200 rot/ml y con

Nannochloris de 120 a 150 rot/ml.

#### 4.3. El cultivo de rotíferos

El rotífero Brachionus plicatilis es la especie más utilizada universalmente para la alimentación de las larvas de peces en cultivo. Se trata de una especie de agua dulce en la que las hembras, de mayor tamaño que los machos, unas 150 a 200 micras, son capaces de reproducirse partenogenéticamente en condiciones favorables. Este rotífero se acostumbra fácilmente al agua de mar y soporta concentraciones que pueden pasar de 500 ind/ml. El ritmo de duplicación de las poblaciones puede ser inferior a 24 horas. Los métodos de reproducción a gran escala están bien establecidos.

Gran cantidad de cepas de este rotífero existen en la actualidad y difieren en su velocidad de crecimiento, en la tolerancia a la temperatura y salinidad y en la relación entre formas partenogenéticas y anfígónicas. La producción de machos, aparte de ser una característica de la cepa, varía con la edad del cultivo como consecuencia de la acumulación de sustancias inductoras.

Para obtener los máximos rendimientos las condiciones del cultivo deben mantenerse de forma que se evite la aparición de formas míticas (sexuales), que dan lugar a la producción de machos y de huevos durables. Para ello, la práctica usual es retirar el medio de cultivo y sustituirlo por un medio fresco, con lo que se consigue mantener la población en fase de crecimiento exponencial.

El mantenimiento de cepas puede hacerse bajando la temperatura. Entre 13 y 15°C B. plicatilis se reproduce muy lentamente y mantiene una población estable durante largos periodos. Los resultados experimentales en cuanto a tasas de crecimiento y filtración son muy difíciles de reproducir, debido a que las condiciones existentes en cada lugar originan cepas adaptadas, que difieren notablemente unas de otras.

El mantenimiento de poblaciones partenogenéticas con un mínimo porcentaje de machos, no siempre es lo más aconsejable para la alimentación de las larvas de peces. Por

ejemplo, los rotíferos adultos tienen un tamaño superior al de la boca de las larvas de dorada cuando estas empiezan a alimentarse por sí mismas. En cambio los machos tienen un tamaño aproximadamente la mitad que las hembras, por lo que el suministro de estas poblaciones de rotíferos puede ser de mucho más valor en los primeros días de arranque de la alimentación.

En muchos centros de piscicultura se ha ensayado con éxito la producción de rotíferos con levadura de panificación en lugar de con algas como se describió en el apartado anterior. Esto representa una reducción muy considerable de los costos porque, por un lado, se eliminan los gastos de la producción en masa de algas, lo que permite además duplicar el espacio disponible para los rotíferos y, por otro, los rendimientos son mucho mayores, alcanzándose concentraciones de más de 500 rot/ml.

Con este procedimiento se producen ocho veces más rotíferos que con las algas, se disminuyen los costos al eliminar el consumo de nutrientes para las algas y al prescindir de la iluminación continua necesaria para el crecimiento algal. El criterio original de dividir la totalidad del cultivo en volúmenes menores, no sólo sigue siendo válido, sino que es más conveniente. En efecto, la levadura, al carecer de células móviles, tiende a sedimentar, lo que es muy difícil de evitar si se usan grandes tanques. La levadura sedimentada entra rápidamente en descomposición y obliga a iniciar el cultivo cada semana. Con el sistema de bolsas es fácil mantener la levadura en suspensión, al tratarse de pequeños volúmenes bien aireados. No obstante, existe un pequeño porcentaje de bolsas que han de ser descartadas.

#### 4.4 La producción de Artemia salina

El branquiópodo Artemia salina es actualmente, después de 50 años de que sus nauplius fueran usados por primera vez como alimento de larvas de peces, el eje del cultivo larvario de especies marinas. Por ello, la demanda y el precio de esta producto son muy elevados. Desgraciadamente, el aprovi-

sionamiento de huevos de Artemia de buena calidad es difícil. Mientras existen más de 50 fuentes naturales diferentes y otros numerosos lugares posibles repartidos por todo el mundo, la mayor parte de las plantas de piscicultura se abastecen de la San Francisco Bay Brand Company. Los otros productores ofrecen huevos con una tasa de eclosión que raramente sobrepasa el 50 %, tienen bajo poder nutritivo o acumulan pesticidas. En Brasil y en el sudeste asiático (Filipinas y Tailandia) se han realizado campañas de inoculación de quistes que han contribuido a la mejora del mercado internacional entre 1978 y 1981. Después de esta época parece ser que la situación ha vuelto a hacerse difícil debido a las compras masivas que los acuicultores japoneses han realizado de los productos procedentes de Brasil.

Artemia salina se desarrolla en masa en el medio natural en ambientes de salinidad elevada. Existen variedades partenogenéticas y anfigónicas, así como razas diploides y tetraploides. A parte de estas modalidades existen también dos tipos de producción de descendencia. Por un lado, las hembras pueden dar lugar a huevos que se desarrollan en el interior del saco ovífero y producen nauplius y estos, se convierten en individuos adultos (15 días). Por otro lado, los huevos son emitidos al exterior, inician el desarrollo embrionario, pero pueden detenerlo cuando se dan condiciones ambientales desfavorables, formando una cubierta quitinosa resistente, pasando a un estado de criptobiosis, es decir, formando un quiste. Estos quistes continuarán el desarrollo cuando las condiciones externas vuelvan a ser adecuadas.

Los quistes pueden ser desecados y conservados durante años, bastando su introducción en agua de mar con aireación suplementaria e iluminación constante, para que se dispare el desarrollo y al cabo de uno o dos días nazcan las larvas nauplius. La eclosión de los quistes no se produce si la salinidad es superior al 70 por mil. En este hecho se basa la obtención de quistes en las lagunas productoras de Artemia, ya que manteniendo en ellas una salinidad elevada, los quistes emitidos no eclosionan y se van acumulando en las orillas por acción del viento. La población se mantiene

con los individuos nacidos por desarrollo directo del huevo dentro del saco ovífero de la hembra.

Los quistes retirados de las lagunas de producción sufren un laborioso tratamiento de limpieza, ya que van acompañados de fango y materiales diversos. El mejor procedimiento es tamizarlos por vía húmeda a través de una columna de filtros de mallas progresivamente decrecientes. El diámetro de los quistes es de 200 a 215 micras, por lo que quedan retenidos, prácticamente limpios, en el tamiz de 180 micras.

Una vez tamizados los quistes se introducen en un recipiente con forma de embudo, que contiene una salmuera concentrada. Los quistes flotan y las impurezas finas que aún les acompañan caen al fondo y se separan por la parte inferior del recipiente con una llave reguladora.

Después de esta operación los quistes se depositan sobre marcos de muselina, extendiéndolos en una capa muy delgada. Estos marcos se colocan en los secaderos, que son unas habitaciones cerradas en las que se establece una circulación de aire caliente.

Para obtener un mayor grado de pureza del producto final, los quistes secos son primero tamizados por una malla de 300 micras y luego separados por chorro de aire de las cascarillas vacías. Los quistes así tratados se conservan en frascos de vidrio herméticamente cerrados para evitar la humedad. Cuando se requiere la obtención de nauplius para las larvas de los peces en cultivo, se procede a hacer eclosionar las cantidades de quistes necesarias.

Uno de los problemas existentes en ese momento es la separación física de los nauplius de las cascarillas y de los quistes sin eclosionar. Un gran número de aparatos han sido diseñados con este propósito, basados en el fototropismo positivo de los nauplius. El problema estriba en que la ingestión de quistes o cascarillas produce obstrucciones intestinales en las larvas y ocasiona importantes mortalidades. Todos estos aparatos han perdido su utilidad desde el momento en que se descubrió que los quistes pueden ser fácilmente descascarillados mediante el tratamiento con una solución de hipoclorito comercial. La lejía elimina el

corion y los embriones quedan cubiertos sólo por una débil membrana que no representa ningún peligro para las larvas. Los quistes así tratados presentan un porcentaje de eclosión superior en un 5 a 10% respecto al de los no tratados y, al mismo tiempo, evitan la introducción de bacterias en los tanques de larvas de los que se encuentran en la cáscara.

Los quistes decapsulados pueden ser incubados fácilmente en bolsas de polietileno de las mismas características que las utilizadas en el cultivo masivo de algas y rotíferos. Si se trata de bolsas de 70 litros de capacidad, suele sembrarse 1 cm de quistes por cada litro, instalando fuerte aireación e iluminación continua. A las 48 horas nacen los nauplius que, si van destinados a las larvas pequeñas, pueden ser utilizados inmediatamente a su eclosión, o pueden ser mantenidos en las bolsas por más tiempo si interesa que tengan un tamaño mayor. En cualquier caso es recomendable añadirles cultivo de algas con el fin de que sean ingeridos por las larvas con el tubo digestivo repleto, lo cual aumenta su valor nutritivo.

El rendimiento de los quistes es variable y depende de la época de recolección. Los mejores son los que proceden de los meses de verano, principalmente de julio, que dan un rendimiento de 150.000 a 200.000 nauplius por gramo de quistes. Los procedentes de los meses de otoño e invierno dan sólo de 70.000 a 80.000 nauplius por gramo.

Las poblaciones naturales de Artemia son también utilizadas para alimentar a las larvas de peces cuando estas ya requieren presas vivas de mayor tamaño que los nauplius, con lo cual se reduce notablemente el consumo de quistes al no tener que prolongar el cultivo de Artemia hasta conseguir el tamaño adecuado en cada momento. En las lagunas productoras la Artemia es recogida con mallas de 150 micras, separada por tamaños con tamices adecuados, lavada y administrada directamente a las larvas. En ocasiones se congela para conservarla y se distribuye posteriormente.

#### 4.5. Perspectivas actuales de la producción de alimento larvario

La cadena: cultivo de algas, cultivo de presas vivas, cultivo de larvas, representa una carga costosa y delicada, difícilmente previsible a nivel de una producción masiva. Actualmente se trata de reducir progresivamente los riesgos que implica el empleo de una cadena alimentaria a base de organismos vivos, desarrollando una mejor utilización de los productos almacenables. Esto implica, por una parte, el reemplazamiento de algas vivas por polvos de algas en la alimentación de los organismos herbívoros y, de otra, la sustitución lo más completa posible de presas vivas por alimentos inertes, como presas muertas, piensos, etc.

La búsqueda de sucedáneos de algas vivas se ha centrado en el empleo de levaduras marinas, aparentemente menos costosas de producir en grandes cantidades. Pero las levaduras son alimentos incompletos, de delicado manejo. Para obtener un crecimiento de Artemia o tasas de multiplicación con Brachionus similares a las que se obtienen con algas, es necesario añadir un complemento vitamínico a las levaduras empleadas.

Más recientemente, han sido puestas a punto técnicas de cultivo de Artemia, simples y económicas gracias a la aparición en el mercado de polvos constituidos por algas microscópicas secas, como Scenedesmus o Spirulina, que se conservan bien, no requieren ningún complemento y son poco costosos.

Otro notable avance experimentado en los últimos cuatro años es la utilización de plancton recolectado en las lagunas costeras, lo que ha supuesto el abandono de los cultivos de algas en las plantas de producción de alevines. Los organismos planctónicos son recogidos de estas lagunas por filtración de grandes volúmenes de agua con diversos sistemas fijos o móviles, tamizados y separados en una variada gradación de tamaños según las necesidades y distribuidos a las larvas bien directamente o bien congelados para su almacenamiento.

Estas nuevas tecnologías han supuesto una reducción enorme de los costos de producción de alevines y el desarrollo de métodos para manejar biológicamente estas lagunas con el fin de conseguir unos niveles adecuados de producción de

zooplancton de una manera selectiva.

#### 4.6. Cronología general de la alimentación larvaria y supervivencias

La variedad de tecnologías utilizadas, tanto en los cultivos de larvas como en los organismos y sustancias empleadas como alimento, evidencian la gran dificultad que existe para proponer un modelo tecnológico a un futuro acuicultor. Existen numerosas técnicas intermedias y no parece posible actualmente relacionar directamente y con seguridad tal o cual método con la tasa de supervivencia larvaria. Se producen además numerosas y diversas malformaciones corporales en las larvas cultivadas, que son causa de mortalidades más o menos elevadas. El origen de estas malformaciones no está aún bien determinado, pero ciertos resultados apuntan a causas relacionadas con las condiciones del medio, especialmente con la temperatura; también la composición del alimento, tanto en su calidad como en su cantidad, parece tener mucha importancia.

De cualquier forma, la secuencia alimentaria tradicionalmente utilizada hasta que se consiguen individuos que pueden ser estabulados para su engorde en el medio natural, es la siguiente, aplicada a la dorada y la lubina:

- Día 4 a 25: B. plicatilis, a concentraciones de 40 rot/ml.
- Día 15 a 60: Nauplius de Artemia salina, a 30 naup/ml.
- Día 30 a 90: Artemia de 2-4 mm y carne triturada de cangrejos, camarones, mejillones y pescados.
- Día 60 a 120: Artemia adulta y pasta de carne de cangrejo, pescado, mejillón, etc. con pienso compuesto seco.
- Día 90 a 120: Estabulación en estanques de engorde: alimentación en extensivo, semiintensivo o intensivo.

Numerosas tentativas se han realizado para poner a punto un alimento inerte tipo pienso adaptado a la primera fase del cultivo de larvas, es decir, de los días 0 a 40, pero ningún resultado significativo se ha obtenido hasta el momento; con la lubina se citan supervivencias de un 4% con

este sistema de administración exclusiva de pienso.

Sin embargo, a la edad de uno o dos meses los alevines pueden ser adaptados perfectamente a comer pastas artificiales o gránulos secos de tamaños adecuado al de su boca. A veces se han observado retrasos en el crecimiento de las larvas, pero el empleo de alimentos artificiales está en la línea por la que se pueden conseguir los mayores avances, ya que los alimentos secos presentan la ventaja de ser más baratos, fáciles de obtener y de almacenar y son susceptibles de ser administrados de forma automática.

El principal problema de esta técnica con algunas especies, como platija y lenguado, consiste en que es difícil de adaptar a los alevines a la dieta artificial y pueden producirse grandes mortalidades. También existen dificultades si el alimento no está bien equilibrado, ocasionando un nulo crecimiento y llegando a alcanzarse un punto de no retroceso en el cual los animales rechazan incluso el alimento vivo y mueren.

El estudio de las necesidades alimentarias de las especies de peces objeto de cultivo revelan que las necesidades cualitativas en aminoácidos esenciales y ácidos grasos indispensables son parecidas en la mayoría de ellas. Lo mismo ocurre con el porcentaje óptimo de proteínas de los alimentos, que debe estar comprendido entre el 40 y el 55%. Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga presentan un carácter indispensable. Faltan estudios específicos sobre las necesidades en vitaminas y sales, pero las mezclas conocidas de esos oligoelementos para los salmónidos parecen cubrir esas necesidades. Los requerimientos aparentes de proteínas pueden ser modificados por otros constituyentes de la ración. Lípidos y glúcidos pueden economizar proteínas utilizadas con fines energéticos. Todos los problemas de utilización de glúcidos en los peces están siendo estudiados en profundidad. Su utilización como fuente de energía es limitada. Hay una falta casi total de datos en lo que respecta a las variaciones de las dietas alimenticias en función de la edad y de las condiciones del medio ambiente.

La aclimatación a la alimentación artificial se hace de forma progresiva, sustituyendo la Artemia o el alimento

natural que se esté dando, por una pasta de gránulo seco y Artemia como atrayente. En esta pasta la cantidad de Artemia se va disminuyendo poco a poco, hasta llegar a que los animales consuman sólo el pienso artificial. A veces la dependencia no llega a ser total, pues se ha visto que el uso de pequeñas cantidades de alimento vivo o fresco es importante para favorecer el crecimiento.

En cuanto a los resultados de supervivencia larvaria, calculados a los 2-3 meses de vida, cuando se considera finalizado el preengorde y se dispone ya de alevines con aspecto semejante al del adulto, son muy variables en relación tanto a las especies como a los autores que los citan. En los peces planos es donde los valores obtenidos son más elevados, oscilando alrededor del 60%. A continuación se sitúa la lubina, con supervivencias medias del 40%. En los mugílidos y en concreto en M. cephalus, una de las pocas especies marinas cultivadas en las que se ha conseguido completar el ciclo en cautividad (reproductores - huevo - larva - alevín - reproductores), se obtienen valores próximos al 25%. Finalmente, en la dorada la supervivencia es aún baja, situándose en valores medios de 10 a 15%.

## 5. EL ENGORDE, UNA TECNOLOGIA MUY DIVERSIFICADA

### 5.1. Introducción

A partir del momento en que se adapta a los alevines al alimento seco compuesto, puede decirse que están teóricamente preparados para el engorde. Los cultivadores japoneses, sin embargo, trasladan a las larvas de "madai" (Pagrus major) a la edad de un mes, cuando miden de 12 a 15 mm, de los tanques de cultivo larvario a las cajas de engorde situadas en el medio natural protegido. Los cultivadores europeos prefieren que los juveniles tengan de 3 a 5 cm (500 mg), para que con las escamas formadas sean más resistentes al transporte.

Después de la reproducción, el dominio del engorde puede ser considerado como el segundo punto primordial del cultivo de peces. Las formas de engorde aparecen muy diver-

sificadas en las distintas partes del mundo, en función de los sitios, de las especies y de las disponibilidades de mano de obra, de materiales o de mecanización. No obstante, repasaremos a continuación los principales ejemplos de sistemas de engorde utilizados, empezando por los más sencillos, es decir, los que consisten en un manejo más o menos simple de las poblaciones naturales, para terminar por los más complejos, los que requieren un control de todas las fases del proceso.

## 5.2. Engorde en esteros y reservorios de la zona intermareal

Este tipo de instalaciones provienen de antiguas salinas costeras en las que se obtenía sal marina haciendo pasar el agua por zonas poco profundas en las que se va evaporando progresivamente. Los casos más próximos a nosotros son los esteros de las salinas de Cádiz y los reservorios de peces de la región de Arcachón, en Francia.

La producción de peces en estas instalaciones se lleva a cabo mediante un cultivo extensivo más o menos controlado, a partir de las poblaciones naturales de alevines que penetran en ellas con las mareas. Las principales especies objeto de explotación son la dorada, la lubina, la anguila, el lenguado y cinco especies de mugílidos, que suelen ser las más abundantes. La obtención de juveniles se hace de forma pasiva, mediante la entrada de agua en la pleamar. Existe un período de captación continua de juveniles que va, aproximadamente, de noviembre a marzo, en el que los esteros están siempre comunicados con el mar a través de su caño de alimentación y no hay obstáculo a la entrada de alevines. Durante la primavera, el verano y parte del otoño el estero se encuentra en fase de estancamiento y las posibilidades de entrada de alevines son, por tanto, muy escasas. Las captaciones se realizan entonces de forma intermitente cada 15 días (a veces, cada 30 días) ya que están en función de los intercambios de agua con el caño, que sólo pueden realizarse en las mareas vivas.

La segunda fase del proceso de producción de estos

cultivos es el engorde, que tiene lugar desde que se da por finalizado el período de captación continua de alevines hasta que se pescan. Algunas especies como la dorada y el lenguado, que tienen crecimiento rápido, necesitan una sólo fase de engorde para llegar al tamaño comercial; el resto de las especies necesitan como mínimo dos años.

En los esteros existe una elevada productividad primaria y secundaria que favorecen una gran abundancia de alimento disponible; pero es un alimento compuesto por una variedad muy limitada de presas debido a las condiciones fluctuantes y con frecuencia extremas de los parámetros físico-químicos del medio. En este medio confinado, los peces se adaptan a alimentarse de las presas más abundantes en cada momento. Este hecho y las elevadas temperaturas del agua de mayo a octubre, superiores a 21° C, hacen que los peces de estero posean una gran eficiencia de asimilación del alimento y alcancen tallas y pesos superiores a las observadas en otros medios naturales.

Los riesgos más graves que tienen estos cultivos son las mortalidades de peces ocasionadas por los descensos de oxígeno disuelto, provocadas por las condiciones climatológicas y agudizadas por la creciente contaminación urbana de algunas zonas; y la pesca furtiva durante todo el año.

Existe además una limitación inicial en la aleatoriedad de la captación de alevines. En el caso de las especies caras, como dorada, lubina y lenguado, los industriales están tratando de conseguir producciones uniformes y controladas con repoblaciones de alevines procedentes de puestas en cautividad en plantas de cultivo semiindustriales. Actualmente se están consiguiendo ya excelentes resultados de crecimiento y supervivencia que apuntan hacia una solución con mucho futuro de cara al establecimiento de una acuicultura moderna con producciones de peces de alta calidad competitivas en los mercados internacionales.

### 5.3. Engorde en valli y estanques de tierra

Uno de los ejemplos más claros de cultivos semiintensivos lo constituye sin duda la vallicultura italiana, dedi-

cada también a la producción de mugílidos, lubina, dorada y anguila. Hoy día muchos valli están siendo modificados subdividiéndolos en múltiples estanques, colocando compuertas que permiten controlar a voluntad la entrada, salida y tamaño de los peces, orientando el sistema hacia un cultivo cada vez más intensivo. Las transformaciones han dado resultados muy positivos, hasta el punto de que la vallicultura actual, a pesar de su gran componente artesanal y empírico, es considerada como uno de los más importantes métodos de cultivo en Europa en términos de producción manejo y técnica.

Los alevines de las especies mencionadas entran en los valli de forma natural, pero, debido a la creciente contaminación marina, su número es cada vez menor. Por ello, los vallicultores se ven obligados a comprar alevines a pescadores profesionales, a los cuales pagan un precio elevado.

En los valli modernos los alevines son estabulados después de su captura en estanques de cemento construídos bajo techo, en los cuales se mantienen en agua en circuito abierto. Estos tanques tienen 4 mm de diámetro y en ellos se colocan 150.000 individuos de 2 cm de talla. Aquí se les alimenta de forma automática, a base de gránulos secos con tamaño de partícula cada vez mayor y se les desinfecta periódicamente para evitar la aparición de enfermedades. Cuando los alevines tienen 8 cm se distribuyen a menor densidad, unos 13.000 por tanque. En invierno estos tanques funcionan con agua reciclada a temperatura constante.

Una segunda fase del cultivo se lleva a cabo en tanques exteriores rectangulares de tierra, de 600 m y 2 m de profundidad. En ellos pueden mantenerse 2 Kg/m de peces, alimentándolos con una dosis diaria de pienso granulado.

Para pasar el invierno se usan estanques de hibernación de 30 a 100 metros de largo, 3 a 6 m. de ancho y 4 a 5 m. de profundidad. La práctica ha demostrado que en los valli no se pueden obtener rendimientos regulares cuando no se proporciona a los peces un refugio seguro durante el invierno. Los gastos de compra de alevines y la introducción creciente del sistema intensivo, han hecho de la hibernación un requisito previo. Los peces son colocados en estos estan-

ques en noviembre y allí permanecen hasta marzo, sin recibir alimento granulado en este período.

La tasa de estabulación durante el invierno es superior a 2 Kg/m, ya que existe una disminución del metabolismo con la temperatura baja y los peces soportan mejor cargas más elevadas.

En primavera los peces son guiados, aprovechando su tendencia a nadar contra corriente, a estanques de cultivo semiintensivo, de 40x20 m colocados en serie. Estos tanques son muy poco profundos (50-70 cm), pero tienen por la parte externa un canal de 1,5 a 2 m de profundidad. La zona menos profunda la usan los peces para encontrar alimento y el canal para refugiarse del calor o del frío. Los peces se alimentan de comida natural del estanque y de comida artificial. Los gránulos secos se lanzan mecánicamente a la parte central de los estanques. No se emplean fertilizantes.

Al final de esta segunda etapa algunos ejemplares pueden ser ya comercializados, pero lo normal es que se les pase, una vez transcurrido el invierno, a estanques exteriores donde se criarán en extensivo hasta que alcancen 600-800 gr (3 años).

Los inconvenientes más graves que se presentan en los valli son ocasionados por la temperatura, tanto en verano como en invierno, cuando el agua no está muy oxigenada o está muy fría, respectivamente. Las defensas de que dispone el vallicultor consisten en hacer entrar agua de mar fresca y oxigenada durante el verano, o una capa de agua fría durante el invierno, para crear una cubierta de hielo protectora.

Otro claro ejemplo de engorde en semiintensivo es el del cultivo de Chanos chanos en Indonesia. Este caso es básicamente el de un monocultivo fertilizado. Este pez se alimenta de cianofíceas y diatomeas, constituyendo un caso típico de alta eficiencia de transformación de la energía. Los alevines son capturados en aguas someras y estabulados en los estanques de engorde, llamados "tambaks", situados en la zona intertidal. Normalmente, los pequeños alevines son primero mantenidos en estanques pequeños y luego pasados a estanques mayores. Los estanques pequeños suelen ser una dependencia interna de los estanques mayores. Los estanques

se llenan con la marea y se evita la entrada de depredadores. El desarrollo del alimento en los estanques es promovido por la adición de restos vegetales o de urea. La única precaución a tomar es evitar un abonado excesivo, que produciría una gran demanda de oxígeno. Los rendimientos de estos cultivos se cifran alrededor de 1.000 Kg/Ha.

Los cultivos de anguila en Japón son ejemplos espectaculares de cría intensiva de peces marinos en estanques. En este país el cultivo de anguilas con métodos intensivos está tan desarrollado que la producción natural de angulas de sus ríos es insuficiente. En efecto, los cultivadores japoneses necesitan unas 80-90 toneladas de angulas cada año y Japón sólo produce 50 toneladas. El resto ha de ser importado de otros países, Taiwan, China y Corea, e incluso han introducido la anguila europea, de la cual Francia, Inglaterra e Italia son los principales abastecedores de angulas.

A grandes rasgos el cultivo de angulas en Japón se hace con dos especies: Anguilla japonica y Anguilla anguilla, y comprende una serie de pasos importantes, a saber: captura de angulas; estabulación en los estanques de engorde; fuerte alimentación; pesca de anguilas para el consumo y comercialización. Para el éxito del cultivo es necesario mantener a las anguilas en un estado de salud óptimo, lo cual se consigue mediante un control exhaustivo de la calidad del agua, y, además, es también esencial separarlas continuamente por tamaños, en estanques distintos, con objeto de evitar el canibalismo que ocasiona la gran voracidad de estos peces.

En cuanto a la alimentación de los juveniles, si se utilizan estanques de fondo fangoso, no es preciso alimentarlas desde el exterior en las primeras semanas de estabulación, ya que consumen el alimento natural que se produce en ellos, como larvas de quironómidos y Daphnia, aunque puede ser conveniente suplementar esta dieta con otra. Cuando los estanques de angulas son de cemento, la alimentación comienza desde el principio de la estabulación. En las dos primeras semanas se les da carne de bivalvos finamente desmenuzada y gusanos, como Tubifex. Durante la tercera y cuarta semanas se introduce en la dieta carne de pescado fresco, principalmente caballa, y de la quinta a la

décima semanas se las alimenta con comida artificial, introducida en la dieta de forma gradual, de manera que al final de este período la alimentación se componga de un 80% de comida artificial y un 20% de carne de pescado. Las angulas se alimentan una vez al día, por la mañana temprano, y la cantidad de alimento que se les suministra varía también con la temperatura del agua.

Las anguilas adultas se alimentan sobre todo con pienso artificial y con pescado fresco. La comida artificial consisten en un 70% de harina de pescado, que lleva un 50% de proteínas. El polvo se mezcla con agua para hacer una pasta consistente, que es depositada en canastos perforados, que se colocan siempre en el mismo sitio del estanque, al cual acuden las anguilas a comer y se retiran una vez limpios. Es muy importante eliminar los restos de comida acumulados en el fondo de los estanques, cuyo proceso de descomposición altera desfavorablemente la calidad del agua. Para ello se suministra siempre la cantidad justa de alimento; otras veces se practica un policultivo con carpas y mugílidos, que son comedores de detritus.

La producción anual de estos cultivos es de unas 15 Tm/Ha, con una tasa de supervivencia que oscila entre el 60 y el 90%

#### 5.4. Engorde en bahías, rías y en mar abierto

La adecuación de áreas costeras para piscicultura marina es difícil de definir. En muchos casos depende de diversos factores desconocidos o insuficientemente conocidos. En particular depende del coste del terreno, de la mano de obra, de los medios de transporte, de la disponibilidad de alevines, del precio del alimento y de actividades competidoras como pueden ser las de tipo recreativo, la navegación comercial, la descarga de aguas residuales, la minería y las prospecciones petrolíferas. Por otra parte, es preciso tener en cuenta las posibles implicaciones ecológicas derivadas de estas actividades, que pueden crear serios problemas de polución ambiental, reducir el valor estético de las costas y sobreexplotar los stocks naturales de ale-

vines.

Las instalaciones y sistemas usados en el cultivo de peces marinos en las diferentes áreas posibles, varían enormemente en relación con las especies y el tipo de explotación elegido, así como con factores de tipo climático, edáfico e hidrológico. En general, el diseño y construcción de estas instalaciones exige una importante tarea de cálculo de resistencias de acuerdo con los datos sobre vientos y corrientes de marea que se den en cada localidad. En estos cálculos ha de considerarse también la resistencia ofrecida por los organismos adheridos a las estructuras, en especial la de aquellos que obstruyen las redes. Los materiales a utilizar deben seleccionarse atendiendo tanto a este hecho como a su resistencia frente a la corrosión. En general, los plásticos son más duraderos que los metales y las redes rígidas permiten una limpieza más fácil que las flexibles.

Como ejemplos de aprovechamiento de estas zonas costeras se encuentran los cultivos de Chrysophris major y Seriola quinqueradiata en Japón, realizados en tres tipos de instalaciones: grandes áreas cerradas por diques con compuertas para la renovación del agua, cerramientos mediante barreras de red y cajas flotantes en bahías protegidas. Nos referiremos solamente a este último caso por ser un ejemplo de cultivo con alta productividad.

El sistema de cultivo en cajas flotantes permite utilizar zonas donde los fondos no son adecuados para otros cultivos y tiene la ventaja de mantener a los animales libres de los predadores. Las cajas están formadas por un entramado de bambú sostenido por flotadores, del cual cuelgan paños de red formando una gran bolsa, que es mantenida en posición correcta (en forma de cubo), mediante anclajes y lastres. En lugares donde el oleaje es fuerte la red de las cajas es doble. Las cajas tienen 10 m. de superficie y 2 a 3 metros de profundidad y suelen colocarse unas junto a otras en grupos de cinco unidades a diez unidades y pueden ser fácilmente remolcadas.

Otras variaciones de diseño introducidas recientemente consisten en grandes cajas flotantes de 20 x 20 x 10 m, en cajas que se mantienen entre dos aguas, a unos 5 metros de

profundidad. También se utilizan cajas circulares de 12 metros de diámetro y 6 de altura, sujetas al fondo con muer-tos de 7 Tm. Están construidas con alambre para prevenir las deformaciones que producirían las fuertes corrientes y pro-tejer a los peces de los tiburones. En estas cajas se colo-can unas 20.000 piezas de seriola y 15.000 piezas de dorada japonesa. La red se limpia tres o cuatro veces al año y en caso de tormentas u oleaje fuerte las cajas se sumergen a unos dos metros de profundidad.

En los cultivos en cajas flotantes el intercambio de agua depende de los vientos y de las mareas. Para ello es de suma importancia vigilar el estado de las redes y retirar los organismos incrustantes, que reducen sensiblemente la circulación del agua y también el espacio interior. La buena circulación del agua dentro de la caja es uno de los facto-res más importantes, pues de ella depende la densidad de animales en cultivo.

La alimentación se hace a base de pescado de baja calidad, que es troceado o triturado antes de ser añadido a los peces. Estos supone un consumo de unas 700.000 toneladas de peces de desecho. Hasta qué grado puede sostenerse un cultivo de esta naturaleza es una cuestión de gran interés para el futuro, ya que el punto crítico del cultivo de estos peces carnívoros es el suministro de un alimento que permita cierta rentabilidad. En el caso de Seriola se trata de con-vertir caballa, jurel y sardina, en pescado de alto valor comercial, con una tasa de conversión de 7 a 1. No parece probable que en caso de escasez de proteínas puedan soste-nerse cultivos alimentados con peces perfectamente comesti-bles por el hombre.

Otra modalidad interesante de aprovechamiento en cultivos es el "ocean ranching", basado en el comportamiento migratorio de los peces anadromos como los salmónidos. Estos peces se reproducen en áreas definidas de los ríos, los juveniles migran al mar, donde utilizan grandes áreas para alimentarse y luego vuelven como adultos a frezar al lugar de su nacimiento.

Actualmente se utilizan dos métodos para mejorar las capturas de salmónidos. Uno de ellos es crear canales o ríos

de puesta, donde desovan los adultos que vienen del mar; estos canales se colocan en áreas no polucionadas. Otro método, muy relacionado con el anterior, consiste en soltar al mar los alevines nacidos y criados en laboratorio. En este sentido es de gran importancia la aclimatación temprana de los juveniles al agua de mar. Un ejemplo de ello lo constituyen los ensayos realizados con Oncorhinchus coho y Salmo gairdneri, que son cultivados de forma intensiva en agua de mar. Se los mantiene en agua dulce hasta que tienen diez meses y luego se les pasa a agua de mar hasta que alcanzan la talla comercial. El cambio de medio puede ser progresivo o directo, pero el crecimiento es superior en el primer caso.

#### 5.5. Engorde en aguas residuales de centrales térmicas, eléctricas o nucleares

El crecimiento de los alevines hasta tamaño comercial se estimula con otros procedimientos de gran interés; uno de los que presenta ya una realidad con futuro es el aprovechamiento de las aguas residuales calientes que arrojan las plantas térmicas, eléctricas y nucleares.

Desde la década de los años sesenta el cultivo de platija, lenguado y rodaballo, por ejemplo se realiza en Gran Bretaña, aprovechando este tipo de afluentes que tienen una temperatura de 5 a 9°C por encima de la del mar. Con esta técnica se obtiene un crecimiento muy rápido y además las propiedades organolépticas de los peces así cultivados son de primera clase y su contenido radiactivo no excede el nivel admitido. Se ha comprobado también que el uso de cloro a baja concentración, necesario en estas instalaciones para evitar las incrustaciones de determinados organismos en las conducciones de agua, o los desechos ácidos, no afectan a la supervivencia de los peces ni inhiben su crecimiento.

En Japón las aguas de enfriamiento de las centrales eléctricas se descargan en grandes cantidades a temperaturas superiores a 7°C por encima de la temperatura ambiente del agua. Estas descargas se utilizan para cultivar langostino, dorada japonesa y pez limón, observándose un aumento del

índice de consumo de alimentos, que da como resultado tasas más elevadas de crecimiento, como consecuencia de que al aumentar la temperatura del agua aumenta también la eficiencia de conversión del alimento.

