

# 6 CUADERNOS DE ACUICULTURA

## El cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)



LUZ ARREGUI MARAVER

# 6 CUADERNOS DE ACUICULTURA

## El cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*)

LUZ ARREGUI MARAVER

FUNDACIÓN OBSERVATORIO ESPAÑOL DE ACUICULTURA

MADRID, 2013

Reservados todos los derechos por la legislación en materia de Propiedad Intelectual. Ni la totalidad ni parte de este libro, incluido el diseño de la cubierta, puede reproducirse, almacenarse, o transmitirse en manera alguna por ningún medio ya sea electrónico, químico, mecánico, óptico, informático, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo por escrito de la editorial.

Las noticias, los asertos y las opiniones contenidos en esta obra son de la exclusiva responsabilidad del autor o autores. La editorial, por su parte, sólo se hace responsable del interés científico de sus publicaciones.

*Catálogo general de publicaciones de la Fundación OESA:*  
<http://www.fundacionoesa.es/publicaciones>

Serie:

### **Cuadernos de Acuicultura**



© Fundación Observatorio Español de Acuicultura

© Luz Arregui Maraver

Maquetación e impresión: DiScript Preimpresión, S. L.

ISBN: 978-84-939800-4-7

## Índice

### CONTENIDO

- 5 ■ 1. HISTORIA
- 7 ■ 2. MORFOLOGÍA
- 8 ■ 3. DISTRIBUCIÓN Y ECOLOGÍA
- 12 ■ 4. CONDICIONES AMBIENTALES
- 19 ■ 5. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN E INSTALACIONES
- 28 ■ 6. EL CICLO PRODUCTIVO
- 48 ■ 7. ALGUNAS OPERACIONES DE MANEJO
- 55 ■ 8. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DEL AGUA
- 67 ■ 9. COMERCIALIZACIÓN
- 75 ■ 10. PATOLOGÍA
- 88 ■ ANEXO 1: CONTEO DE HUEVOS
- 89 ■ ANEXO 2: ACLIMATACIÓN DE HUEVOS
- 90 ■ ANEXO 3. VACUNACIÓN
- 93 ■ ANEXO 4. CRÍA SELECTIVA
- 97 ■ 11. BIBLIOGRAFÍA

# El cultivo de la trucha arco iris

## Trucha arco iris

El término «trucha» corresponde a dos géneros: *Salmo* y *Oncorhynchus*. Dentro de cada género existen distintas especies, subespecies, razas o formas.

- Las truchas criadas en España son la trucha fario (o común), y la trucha arco iris.
- La trucha común vive en los ríos y arroyos de montaña de Europa, Norte de África y Oriente próximo. Es una forma sedentaria denominada *Salmo trutta fario*, por oposición a los «reos» (*Salmo trutta trutta*), que son anádromos: emigran al mar y remontan los ríos atlánticos en la época de puesta.
- La trucha arco iris - *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)- , pertenece a la familia de los salmónidos, tiene su origen en la costa oeste americana, y es la especie de trucha de mayor cultivo a nivel mundial. Este interés por su crianza se basa en su resistencia, facilidad de cría, versatilidad en instalaciones y ambientes de cría y un mercado creciente tanto para su consumo como para pesca deportiva.
- Tras una gran polémica entre científicos y apasionados de la pesca de esta especie, el nombre de género y el nombre específico de la trucha arco iris fueron cambiados en 1989<sup>1</sup>. Hasta ese año la trucha arco iris se citaba como *Salmo gairdneri* mientras que su nombre actual es *Oncorhynchus mykiss*.<sup>2</sup>
- Nombres de las truchas arco iris en otros idiomas:
  - Inglés: rainbow trout
  - Italiano: trota iridea
  - Francés: truite arc-en-ciel
  - Alemán: Regenbogenforelle
  - Holandés: Regenboogforel
  - Portugués: truta arco-íris
  - Polaco: Pstrąg

<sup>1</sup> Smith y Stearley, (1989).

<sup>2</sup> N. del A.: *Oncorhynchus* reemplazó el nombre del género *Salmo* en base a pruebas fósiles que mostraban que las truchas del Pacífico estaban más emparentadas con el salmón del Pacífico que con el salmón del Atlántico (*Salmo salar*). Las truchas y salmones del Pacífico están actualmente clasificadas en el género *Oncorhynchus*. El nombre de la especie «gairdneri» se reemplazó por «mykiss» al demostrarse que la especie «mykiss» originaria de Rusia era la misma que gairdneri. Como mykiss había sido descrita en primer lugar, ese nombre tenía prioridad de uso sobre el otro.

### 1. HISTORIA

En 1758 Jacobi publica las primeras experiencias en fecundación artificial de huevos de trucha y salmón<sup>3</sup>. En 1842, dos pescadores de los Vosgos (Francia) fecundan óvulos de trucha y repueblan durante varios años hasta que sus experiencias son estudiadas y difundidas por el Profesor Coste.

Gracias a estas primeras prácticas, surgen los primeros centros o granjas dedicadas a investigación y repoblación de truchas y salmones en Francia, estos centros se generalizan en el resto de Europa durante el siglo XIX.

La acuicultura moderna en España surge en 1866 con la puesta en marcha de la primera piscifactoría española en los Jardines del Palacio de La Granja (denominado Laboratorio Ictiogénico de la Granja de San Ildefonso), en Segovia. En la misma época (1863) el emperador austríaco Francisco José, instaló en sus castillos una piscifactoría, el rey de Holanda en los suyos y la Reina Victoria, en los jardines del Palacio de Windsor. Esta instalación fue dirigida por Mariano de la Paz Graells, bajo los auspicios del Rey Francisco de Asís y sus experiencias y prácticas permitieron la publicación del Manual práctico de piscicultura.

A continuación la familia Muntadas construyó el primer centro privado de acuicultura en el Monasterio de Piedra en Zaragoza, cuna de la piscicultura española en 1867, instalación que posteriormente, en 1886, fue arrendada al Estado y todavía hoy en día sigue funcionando.

De las estadísticas del Monasterio de Piedra podemos deducir que la producción de huevos de trucha arco iris en España se inició en la temporada de 1889-90, seguramente tras la cría de huevos provenientes del centro ictiológico de Alsacia, que a su vez habría obtenido sus reproductores de huevos provenientes de EEUU<sup>3</sup>.

En poco tiempo se convierte en la especie, con mucho, más cultivada de España<sup>4</sup>. La construcción de los centros estatales de repoblación se mantiene en varias épocas del s. XX, hasta que en la segunda mitad del s. XX

<sup>3</sup> Huet, M, 1970.

<sup>4</sup> Lizasoain, J. (1914), Blanco Cachafeiro, M. C. (1984).

el ICONA, Instituto para la Conservación de la Naturaleza, dispone de una treintena de centros diseminados por toda la geografía española, dedicados en su mayoría a la reproducción y cría de salmónidos con fines de repoblación<sup>5</sup>. Estos centros fueron transferidos a las Comunidades Autónomas en la década de los años 90.

A pesar del mayor interés deportivo y ecológico de la trucha común, las arcoiris se mantienen en las estadísticas de repoblaciones para tramos medios y cotos intensivos.

La acuicultura privada se desarrolló desde los inicios del s. XIX en toda Europa, con Dinamarca y Francia a la cabeza. Son explotaciones rudimentarias dedicadas no ya a la repoblación, sino al abastecimiento del mercado. En ellas los peces se alimentan de restos de pescado y despojos cárnicos.

A mediados del siglo XX la alimentación deja de ser un factor limitante en la piscicultura con la llegada de los piensos compuestos secos. Estos permitieron al sector un salto cualitativo en las condiciones productivas, sanitarias y ambientales, ya que con esas dietas los índices de conversión eran de cuatro a nueve veces más altos que en la actualidad. También incidió en el desarrollo del sector la aplicación del fotoperiodo en las puestas, permitiendo la entrada de hueva en la instalación en cualquier época del año.

Es en este momento tan favorable en el que España se reincorpora a la actividad privada con la granja de Riezu (Navarra), que comenzó su construcción en 1961.

Seguirán dos décadas en las que se construyen en poco tiempo multitud de centros: del tipo danés, raceways americanos, etc.

Y a diferencia de las granjas europeas, donde aún ahora el pescado que alcanza el tamaño comercial se transporta vivo a los centros de procesamiento o al mercado, desde el principio en España los piscicultores sacrificaban en la granja en su planta de procesado anexa. Esta diferencia, para bien y para mal, ha determinado el desarrollo de la acuicultura continental en España. Nuestra bioseguridad se ha visto muy reforzada, pero también ha mantenido la comercialización ligada a esas pequeñas plantas de pro-

<sup>5</sup> Blanco Cachafeiro, M.C. (1984)

cesado. Durante las primeras décadas de actividad estos centros se suministraban de hueva proveniente de Estados Unidos u otros países de la Unión Europea. A partir de 1994, comenzó a operar en Galicia la primera granja de reproductores de España. Dos años más tarde se añadió al mismo grupo empresarial otra piscifactoría de reproductores en el Pirineo Aragonés. Así se consiguió el autoabastecimiento y cierre del ciclo en España. Con ellas surgieron las primeras granjas especializadas en venta de alevines, lo que permitió a muchas granjas dedicarse en exclusiva al engorde y abandonar así las primeras fases del cultivo.

En la actualidad el engorde de truchas es la principal actividad de la acuicultura continental en España. En 2011 el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, censó 183 establecimientos de acuicultura continental, 140 en tierra firme y 43 en enclaves naturales.

## 2. MORFOLOGÍA

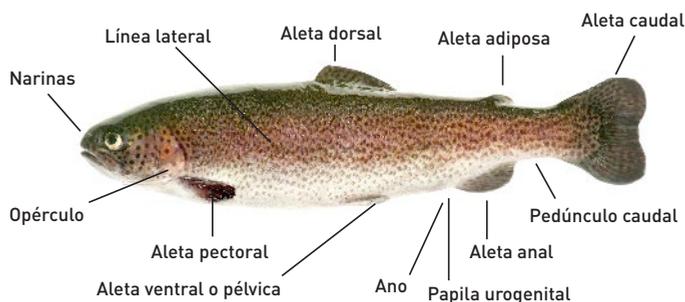


Ilustración 1. Trucha arco iris.

La trucha arco iris presenta un cuerpo alargado y fusiforme, con 60-66 vértebras, 3-4 espinas dorsales, 10-12 radios blandos dorsales, 3-4 espinas anales, 8-12 radios blandos anales y 19 radios caudales.

Como todos los salmónidos, tiene una aleta adiposa, generalmente con un borde negro. Una banda irisada rosácea longitudinal le marca los flancos. Por encima de ella es de color azul a verde, por debajo el vientre es color gris plateado o blanquecino.

Como caracteres sexuales secundarios en el macho la banda irisada se volverá más brillante y la mandíbula inferior será más pronunciada hacia arriba. Las hembras presentarán el vientre abultado y el orificio genital aparecerá hinchado y con una coloración rojiza.

La coloración varía con el hábitat, el tamaño y condición sexual. Los que habitan ríos y los reproductores suelen ser más oscuros y de colores más intensos que los que habitan en lagos, que tienden a tonos más plateados y brillantes.

Unos puntos negros de forma estrellada marcan el cuerpo, la cabeza y las aletas dorsal, anal y caudal.

La ausencia de dientes hioides es la característica más destacada de los «cut throat», una de las líneas de arco iris.

Una característica peculiar de los salmónidos es que en las primeras etapas de la vida no es posible determinar microscópicamente si la glándula sexual de un ejemplar cualquiera es un testículo o un ovario. Este fenómeno es denominado «gonocorismo indiferenciado», lo presentan truchas y salmones, de tal forma que, aproximadamente hasta los cuatro meses de vida estos órganos no adquieren la estructura histológica y funcional típica. Esta característica es lo que permite el cultivo de ejemplares «todo hembra».

## Tamaño

Las formas sedentarias pueden alcanzar los 4,5 Kg en 3 años, mientras que en el mismo tiempo las de lagos o mar pueden llegar a los 7-10 Kg.

Su velocidad máxima es de 5 m/s, pero se desplaza lentamente para ahorrar energía. Los movimientos en S tienen lugar gracias a la aleta caudal, facilitados por los músculos de la cola, que le permite avanzar o recular. Se paran desplegando las aletas pares y cambian de dirección gracias a las pectorales. Pueden efectuar saltos de hasta un metro.

## 3. DISTRIBUCIÓN Y ECOLOGÍA

La trucha vive en aguas frías y es capaz de ocupar hábitats muy diversos. La arco iris es una especie nativa de América del Norte, de los cursos de agua de la costa oeste, desde Alaska hasta México.

## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS

Las arco iris «steelhead» son anádromas (viven en el océano, pero desovan en la grava de ríos o arroyos de corrientes rápidas), pero también hay líneas que habitan en los lagos de forma permanente.

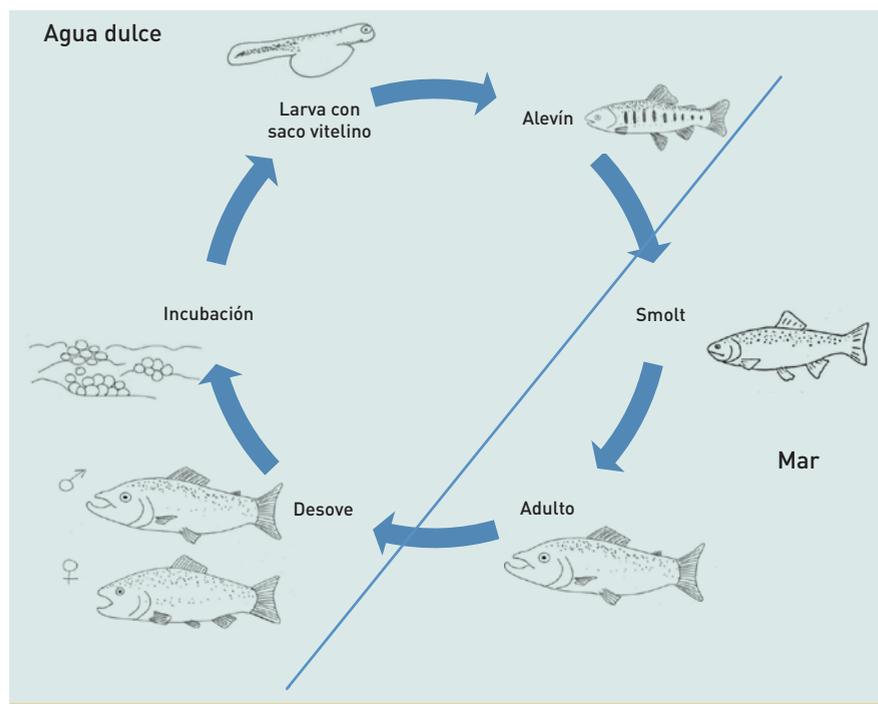


Ilustración 2. Ciclo Biológico de trucha arco iris anádroma.

La especie puede soportar un amplio rango de temperaturas (de 0 a 27 °C), pero el desove y el crecimiento se producen en un rango más estrecho (de 9 a 14 °C).

La temperatura y la disponibilidad de alimentos influyen en el crecimiento y la maduración, por lo que la edad de maduración puede variar.

En el río las truchas silvestres se alimentan de insectos terrestres y acuáticos, moluscos, huevos de peces y peces pequeños, así como camarones y crustáceos de agua dulce, que le aportan los carotenoides responsables del color naranja-rosado en la carne.

Existen muy pocos hábitats aptos para la vida de los salmónidos que no se encuentren ocupados por trucha común o trucha arco iris. Desde mediados del siglo XIX ambas especies, arco iris y fario, se introdujeron en las aguas de todos los continentes. Los colonos europeos intentaban que su nueva hacienda se pareciera lo más posible a su país de origen, por lo que llevaban consigo sus semillas, animales de compañía y granja. Se crearon en Europa diversas «sociedades de aclimatación» cuyo objetivo era trasladar plantas y animales de su país de origen a donde se instalaran los colonos. Tal y como resumió un Oficial Británico del siglo XIX destinado en el Este de África, *«lo que los colonos blancos querrán encontrar aquí es trigo en sus campos y truchas en sus ríos»*.

Así, la fario se trasladó a América y a las colonias inglesas y la arco iris se trasladó desde la costa pacífica de EEUU hacia el Atlántico y Canadá. Llegó a Inglaterra en 1875, saltó a Europa continental en 1879, y en breve también a Australia y Nueva Zelanda, Sudáfrica y a América del Sur ya a inicios del s. XX. Desde Europa se exportó al norte de África y a Japón (MacCrimmon, H.R. 1971). Existen cotos de pesca que se mantienen de forma natural o con repoblaciones en las cuencas altas de muchos países tropicales y subtropicales de Asia, África Oriental y América del Sur. La distribución se limita a causa de exigencias térmicas y de la existencia de zonas de puesta eficaces (MacCrimmon, H.R. 1971)

Aunque está presente en España, la arco iris en Europa sólo se ha aclimatado realmente a algunos lugares de Europa Central. En España son muy raros los casos de reproducción natural.

### 3.1. Linajes

Existen numerosas variedades, razas y estirpes. Las «steel head», por ejemplo, o «ocean trout», como las conocen en Australia, son migratorias. Durante todo el siglo XX se fueron introduciendo varios troncos en Europa que fueron hibridando unos con otros, por lo que la interpretación genética es muy compleja.

### 3.2. Hábitat y costumbres

Tras casi dos siglos de importaciones y cruces su ecología en Europa es impredecible, por lo que las poblaciones actuales pueden tener o no carácter migratorio. Tolerancia a aguas menos frías que la fario, y se adapta a tem-

peraturas más elevadas. Podemos considerar su temperatura óptima entre los 10 y 15 °C y letal en 25 °C (Charlon *et al.* 1970).

En el río durante el verano vive en las fosas o cerca de los manantiales. En lagos y ríos de grava vive bien si las temperaturas no sobrepasan los 25 °C. Tolera bien las aguas salobres y muy saladas.

### 3.3. Nutrición

La trucha es carnívora, se traga a sus capturas enteras. Sale de su escondite y en su territorio se alimenta de invertebrados y pequeños peces que captura en el agua, pero también de algunos terrestres. Come insectos, camarones, peces pequeños, renacuajos, crustáceos, gusanos...

### 3.4. Reproducción

Busca lugares de puesta poco profundos, con fondo de grava y corriente rápida

En su lugar de origen (Montañas Rocosas, costa oeste americana) la puesta es más tardía que la común (10-15 °C: entre diciembre y mayo según regiones).

Cuando se acerca la puesta las hembras tienen el vientre más abultado, con un ano prominente y enrojecido. Los machos oscurecen y adelgazan, el maxilar inferior se encorva en los más viejos y se vuelven agresivos. Cada macho produce unos 25 millones de espermatozoides.

La hembra excava un hoyo y libera unos 2000 óvulos por kg peso. Los huevos son relativamente grandes, de 3 a 6 mm de diámetro. Esta medida está relacionada con la talla de las hembras y no con su edad. El macho los fecunda inmediatamente, la hembra tapa el hoyo y los abandona. Los huevos eclosionan tras un mes aproximadamente.

La época de puesta de arco iris es de diciembre a mayo, pero en todas las especies y subespecies existen diferencias individuales, de raza, por clima, estado sanitario, turbidez (puede retrasar la puesta), horas de luz (el desarrollo de los órganos sexuales tiene lugar a partir del verano y la maduración en los días cortos), etc.: Estas diferencias tan acusadas en el

período de puesta se han aprovechado por los piscicultores para mantener líneas genéticas con puestas de otoño o primavera.

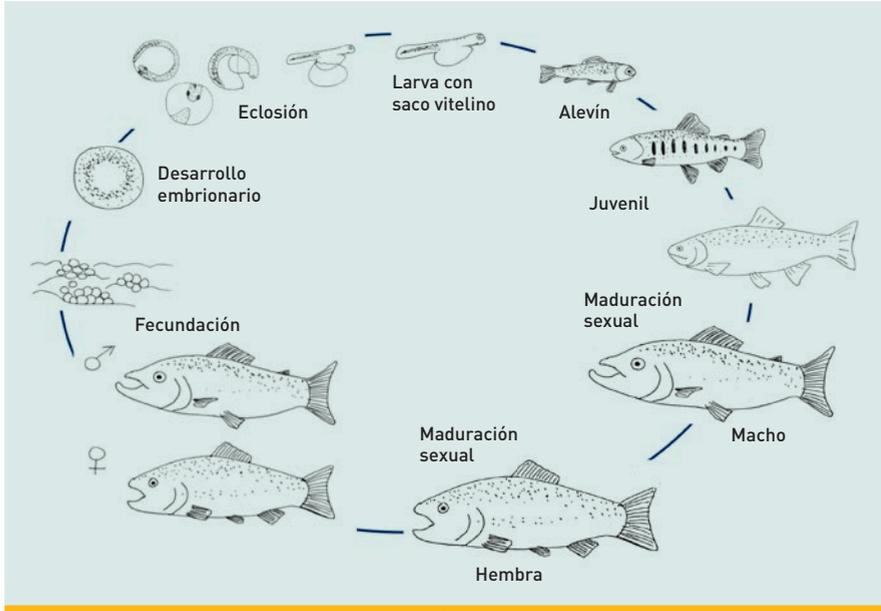


Ilustración 3. Ciclo de vida.

## 4. CONDICIONES AMBIENTALES

Necesitamos asegurar a la trucha condiciones ambientales óptimas o lo más cercanas posibles durante todas las fases de cultivo. Para ello lo primero es que el piscicultor conozca cuáles son estos requisitos de cultivo. Estas condiciones pueden ser modificadas gracias a, por ejemplo, la oxigenación, la recirculación o el tratamiento del agua.

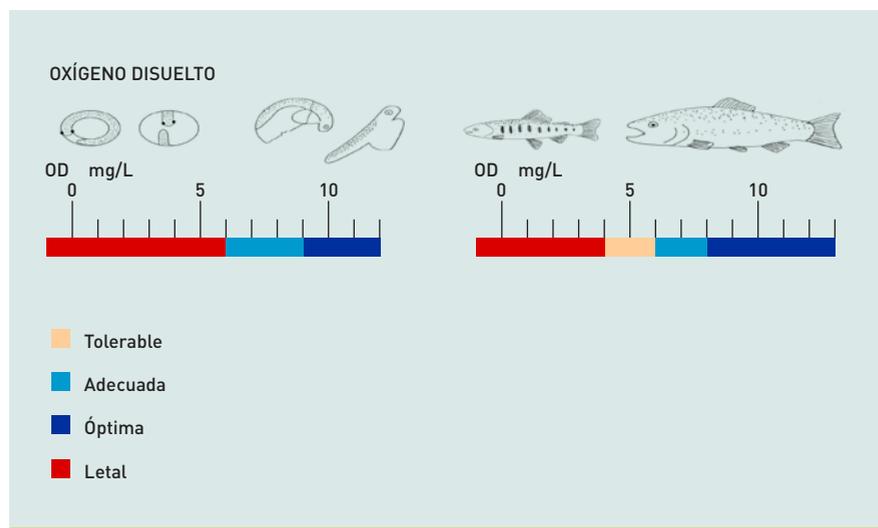
### 4.1. Oxígeno Disuelto

La concentración óptima o aceptable de oxígeno dependerá de la fase del ciclo a cultivar. La necesidad de oxígeno en la trucha varía entre 200 y 500 mg/kg/h, según su edad. Las más jóvenes necesitan más oxígeno.

## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS

El oxígeno disuelto en el agua será utilizado por los peces, plantas y todos los organismos aerobios que se encuentren en el agua. Generalmente se expresa en miligramos por litro de agua.

El rango óptimo es próximo a saturación (100%), pero los límites de cultivo para incubación de huevos y primeras fases embrionarias suelen rondar los 6 mg/L, en etapas posteriores el límite puede encontrarse en los 4-5 mg/L, aunque conviene mantenerlo en niveles superiores, ya que no sólo ha de permitir la supervivencia de los peces sino un buen índice de conversión del alimento. La demanda de oxígeno aumenta significativamente durante la alimentación y digestión.



La cantidad máxima de oxígeno disuelto en el agua (saturación) depende principalmente de la temperatura. A mayor temperatura, menor cantidad de oxígeno disuelto, y viceversa. Existen otros factores a tener en cuenta: a mayor salinidad del agua o a menor presión atmosférica, menor solubilidad de oxígeno. Durante la noche la vegetación del río también va a consumir oxígeno.

Normalmente el agua entra en la instalación sobresaturada de oxígeno, y según atraviesa los estanques los peces lo consumen hasta que se hace necesario algún aporte extra para poder reutilizar el agua.

Cuando los tanques no disponen de suficiente oxígeno los peces tienden a concentrarse en la cabecera de los tanques.

Existen varios sistemas para añadir este oxígeno extra: saltos de agua, aireación o inyección. Si no se añade oxígeno al sistema, la cantidad de huevos, alevines y peces de engorde se determina en base a la cantidad de agua de entrada disponible y su oxígeno disuelto.

#### 4.2. Caudal

La cantidad del agua que fluye por un tubo o un canal abierto depende de la velocidad de agua y de la sección del tubo o canal por donde fluye:

$$Q = V \times A$$

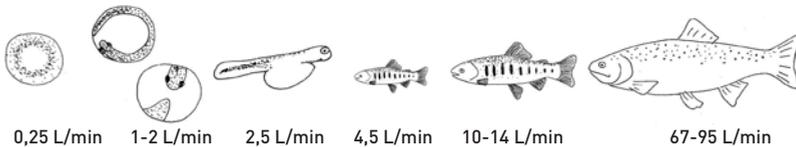
Donde Q = caudal (L/s), V = velocidad (m/s) , A = área (m<sup>2</sup>).

Para poder realizar otros cálculos, a veces transformamos el caudal en el tiempo necesario para renovar totalmente el volumen de agua de un tanque o de la instalación:

Tiempo de renovación (min) = Volumen tanque (L)/Q (L/min)

Con este dato calculamos el número de renovaciones/hora o/día.

Caudal de agua para 1.000 individuos



Etapa	Inicio	Fin	N.º Individuos
Incubación de hueva y desarrollo larvario	0.25 litros/min	2.5 litros/min	10.000 huevos
cría de alevines	0.25 litros/min	3.5-4.5 litros/min	1000 alevines
cría de juveniles	3.5-4.5 litros/min	10-14 litros/min	1000 juveniles
Engorde	10-14 litros/min	67-65 litros/min	1000 truchas

Tabla 1. Suministro de agua en los tanques según la fase de desarrollo para un determinado número de ejemplares. Datos de Huet (1970) y Hoisy (2002).

### 4.3. Velocidad del agua

Como acabamos de ver, la velocidad del agua es proporcional al caudal, pero un tanque puede tener un caudal adecuado y una velocidad perjudicial para los peces.

La velocidad del agua en el tanque dependerá del caudal, pero también de su forma, orientación y velocidad en la entrada, así como de la forma y localización de la salida de agua.

Para calcular de una manera sencilla la velocidad en tanques rectangulares, la velocidad del agua (cm/s) será igual a la longitud del tanque (cm) entre el tiempo de renovación (s).

Para calcular la velocidad óptima para la talla del pez los productores aplican una regla muy sencilla: 1 cm /s por cada cm de longitud del pez, hasta un máximo de 20 cm/s. A partir de aquí, aunque el pez tenga mayor longitud, no es aconsejable aumentar la velocidad del agua.

Tanto el exceso como la falta de velocidad de agua puede ser muy perjudicial para los peces, especialmente durante su desarrollo larvario.

Si la velocidad es excesiva los peces tienden a agruparse en el final de los tanques rectangulares o en el centro de los circulares.

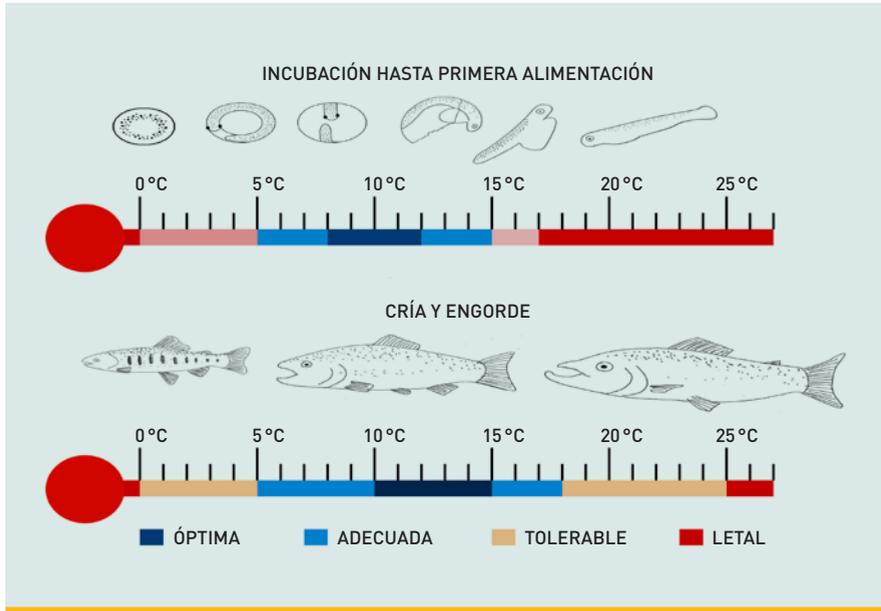
Si la velocidad circula más lentamente de lo que sería adecuado puede no llegar oxígeno suficiente a los peces, y en el fondo del tanque se acumularán tóxicos y materia orgánica.

### 4.4. Temperatura

La temperatura preferente de cultivo (engorde) es de 14-18 °C para arco iris. (Boeuf 1988). Esta zona térmica preferente puede variar por otros factores como caudal, profundidad, alimentación, etc.

Si las variaciones de temperatura son lentas, existe capacidad de adaptación en ambos sentidos, hasta los 0 a 25 °C.

El apetito es óptimo de los 7 a los 18 °C, siendo mayor el apetito según se incrementa la temperatura, aunque al superar los 18 °C decae otra vez.



Existe una relación inversa entre la intensidad de la alimentación y la eficacia de la digestión. A 18 °C el apetito es máximo pero la digestión a esta temperatura no es muy eficaz. Los mejores rendimientos en trucha se obtienen cuando la temperatura ronda los 15 °C (Molony, 2001).

#### 4.5. Materia en Suspensión

Las truchas necesitan aguas claras para la incubación y la alimentación.

En las avenidas, por contaminaciones o por otros motivos pueden darse grandes incrementos de materia en suspensión.

Las concentraciones subletales de partículas en suspensión suelen estar asociadas a actividades humanas, por presencia de núcleos urbanos, intervenciones en los cauces y/ o actividades agroganaderas (Birtwell, 1999).

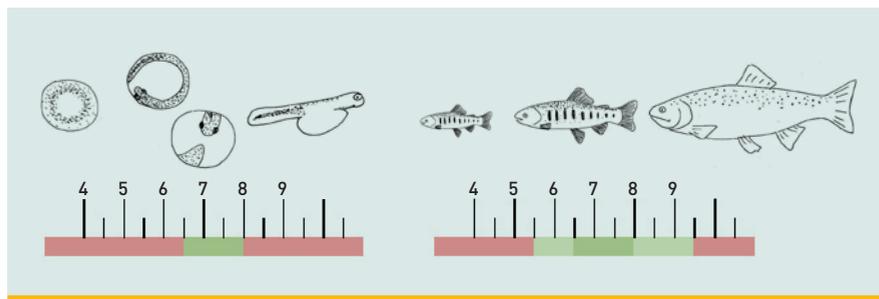
No todos los tipos de sólidos en suspensión provocan los mismos efectos ni a todas las edades los peces presentan la misma susceptibilidad (Brown, 2000). Según la concentración, el tamaño y la naturaleza de las partículas, provocan alteraciones branquiales que pueden llegar a asfixiar a los ejemplares.

Los huevos son especialmente sensibles a cargas excesivas de sólidos en suspensión, ya que impiden la respiración a través de la membrana que los recubre (Reiser y White, 1988; Roberts, 2001), por lo que normalmente se protegen las incubaciones con filtros.

La turbidez también puede impedir la visión normal de los peces, imprescindible para alimentarse con normalidad. También se manifiesta mediante la disminución de procesos de fotosíntesis al impedir la entrada de luz natural, lo que conlleva una disminución del oxígeno disuelto en el agua (Newcombe y Jensen, 1996; Boyd, 2000).

### 4.6. pH

El agua que llega a las granjas depende de la composición de los terrenos por donde discurre. En territorios graníticos o con cuarcitas, el sílice se disuelve en el agua y el carácter de esta es ácido, en terrenos calcáreos el carácter del agua es básico, debido al calcio, sodio y potasio disueltos.



El carácter ácido o básico de un agua es determinante en piscicultura; los salmónidos son poco tolerantes con los cambios bruscos, cosa que puede suceder en zonas de pH ácido, con lluvias persistentes que lavan terrenos graníticos, o zonas de coníferas. Por otra parte, la eliminación de anhídrido carbónico durante la fotosíntesis diurna hace que aumente el pH de las aguas. Cuando los niveles de eutrofización son elevados, los cambios de pH de la noche al día pueden ser acusados por los peces.

Dependiendo de la edad, la trucha tolera rangos menores o mayores de pH. La trucha arco iris de engorde tolera rangos entre 5,5 y pH 9,5, en

• las incubaciones y primeras fases sin embargo podemos considerar un  
 • rango de 6.5 y 8.

• Por debajo del pH 5,0 los salmónidos pierden la facultad para regular  
 • la concentración de cloro y sodio en el plasma (Roberts, 2001). Las aguas  
 • excesivamente ácidas producen erosiones en piel y branquias y alteracio-  
 • nes en la osmorregulación, (Brown, 2000). Los límites básicos del agua  
 • también pueden ser letales para los peces, produciendo erosiones en piel,  
 • hipertrofia e hiperplasia en las branquias e incluso ceguera por lesiones  
 • en el cristalino (Daye y Garside, 1976; Fivelstad, 2003).

• En las explotaciones que crían gran densidad de peces por m<sup>3</sup> de es-  
 • tanque, pueden observarse variaciones de pH del agua de salida respecto  
 • al agua de entrada. El dióxido de carbono disuelto en el agua en estado li-  
 • bre es competitivo con el oxígeno que respiran los peces, pudiéndose dar  
 • el caso de que en aguas muy recicladas y débilmente oxigenadas, los pe-  
 • ces no consigan el oxígeno necesario para su metabolismo. Para evitar el  
 • exceso de CO<sub>2</sub> en el agua se recurre a diversos métodos para airear el  
 • agua, de manera que libere ese CO<sub>2</sub> tóxico.

#### 4.7. Amoníaco y compuestos nitrogenados

• El amoníaco y otros compuestos nitrogenados se eliminan con las heces  
 • de los peces.

NH <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	↔	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup>
No Ionizado		Ionizado
Tóxico		Débilmente tóxico

• La fracción tóxica del nitrógeno amoniacal es la forma no ionizada  
 • NH<sub>3</sub>. Estas moléculas de amoníaco pueden ser letales para los peces a ni-  
 • veles de 0,02-0,07 mg/l.

• Cuando los salmónidos, durante espacios de tiempo prolongados,  
 • son sometidos a concentraciones subletales de nitritos y amoníaco, gene-  
 • ran respuestas de estrés incrementando la susceptibilidad a determinadas

infecciones bacterianas y/o parasitarias originadas por *Aeromonas*, *Flavobacterias*, *Costias*, etc. (Soderberg y cols., 1983).

Su existencia en el agua de cultivo depende fundamentalmente del pH y de la temperatura del agua. Cuanto más ácida sea el agua, mayor es su concentración en iones  $H^+$ , los cuales son cedidos al medio y captados por la forma tóxica  $NH_3$ , transformándose en la molécula no tóxica  $NH_4^+$ . Por este motivo en aguas ácidas hay menos riesgo de toxicidad por nitrógeno amoniacal, y por este motivo en igualdad de condiciones las granjas de aguas ligeramente ácidas admiten mayores cargas, ya que en igualdad de condiciones su forma tóxica se encuentra en menor porcentaje. La concentración de  $NH_3$  también aumenta con temperaturas altas.

Pero la exposición sostenida a altos niveles de amonio tampoco es recomendable, ya que produce anorexia, comportamientos anómalos y esterilidad en las truchas y otros salmónidos (Brown, 2000; Ortega y cols., 2005).

Los nitritos, muy solubles en agua, resultan de la oxidación del amoníaco en presencia de ciertas bacterias y pueden producir efectos tóxicos en los peces al convertir la hemoglobina en metahemoglobina, que impide el transporte de oxígeno a los tejidos (Alabaster y Lloyd, 1982; Jensen, 2003).

## 5. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN E INSTALACIONES

La práctica más común es el monocultivo intensivo. Todo el ciclo puede realizarse en instalaciones en tierra con aporte de agua dulce. Los peces más grandes pueden criarse en jaulas en lagos o en el mar.

Para que una localización sea adecuada ha de contar con un suministro de agua constante y de calidad todo el año.

Generalmente las instalaciones captan agua de río, a pesar de que esta es la fuente de agua más variable, si la comparamos con el mar o el manantial. Puede cambiar su turbidez, su caudal, temperatura, etc.

Los manantiales son una fuente en general más segura, aunque escasa, por lo que suelen utilizarse para las instalaciones de incubación. El

• agua de manantial no soportará diferencias de temperatura como el agua superficial.

• Para construir una granja en abierto (sin recirculación de agua) conviene que el terreno tenga el máximo desnivel posible, eso ayudará a llenar los tanques por gravedad y a oxigenar el agua.

• En algunos países se bombea el agua de los lagos o incluso de los ríos, para poder aprovechar gradientes térmicos o por otros motivos. Las instalaciones de recirculación se están generalizando en países de aguas frías, pero aún quedan incógnitas por despejar sobre su aplicación en climas templados.

• Según las técnicas de cría convencionales se pueden criar una media de 3 a 5 kg/l/min.



**Ilustración 4. Piscifactoría Hermanos Fariña Andrade S.L.**  
Fotografía de Miguel Ares.

• Una instalación de piscicultura continental, consiste, desde el punto de vista hidráulico, en un circuito derivado del caudal del río que la alimenta, por el que se hace discurrir el agua captada.

• El agua discurre por un sistema de canales y estanques donde están confinados los peces, y finalmente, es devuelta al río en un punto de vertido. (Huet 1980).



Azud de Truchas de Piquín S.L.  
Fotografía de Marcos Ramallal.

Para la captación de agua de los cauces naturales se construyen presas o azudes, cuya altura y diseño determinan la cantidad de agua a derivar. Los datos anteriores de los niveles de avenida y sequía máximos serán básicos para poder diseñar la instalación. Desde la presa o azud el agua llegará a la instalación piscícola mediante un canal de captación.

El canal de entrada contará con rejillas que eviten la entrada de peces salvajes a la piscifactoría o escapes de los peces cultivados al río. Por otra parte estas rejillas evitan la entrada en las instalaciones de troncos, hojas y otros objetos sólidos arrastrados por el río.

El canal de captación, suele estar construido en hormigón, generalmente, a cielo abierto, ya que las conducciones por tubería se obturan fácilmente con los arrastres del río. Este canal, además de conducir el agua hasta los estanques, mantiene el mismo nivel en todo el recorrido, que es siempre más alto en relación con el punto de vertido de las aguas al río. La diferencia entre estas dos cotas determina la circulación hidráulica, y cuando la diferencia de cotas es elevada, permite la reoxigenación natural de las aguas por medio de saltos y desniveles. El agua que llega a la piscifactoría por el canal de captación, se distribuye a los distintos estanques (Blanco Cachafeiro, 1984).

### 5.1. Sistemas de incubación

#### Bandejas o pilas de incubación

En ellas, además de la incubación se crían los alevines durante uno o varios meses.

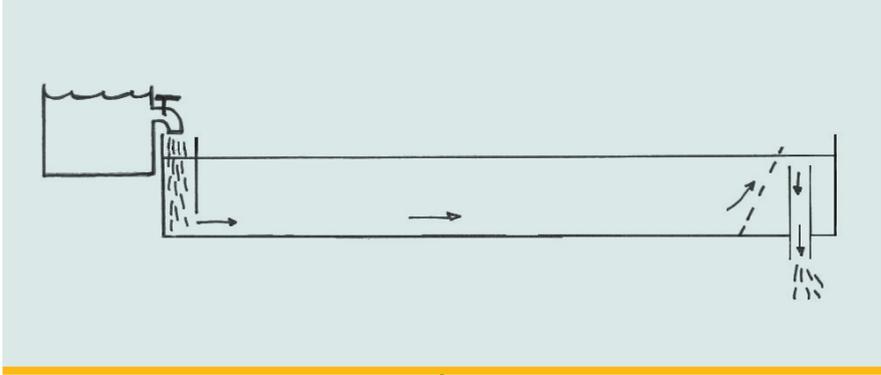


Ilustración 5. Pila de incubación.

En su interior se colocan rejillas o bandejas de incubación: el agua circula de abajo a arriba. Cuando los huevos eclosionan los alevines se cuelan por los agujeros y caen al fondo.

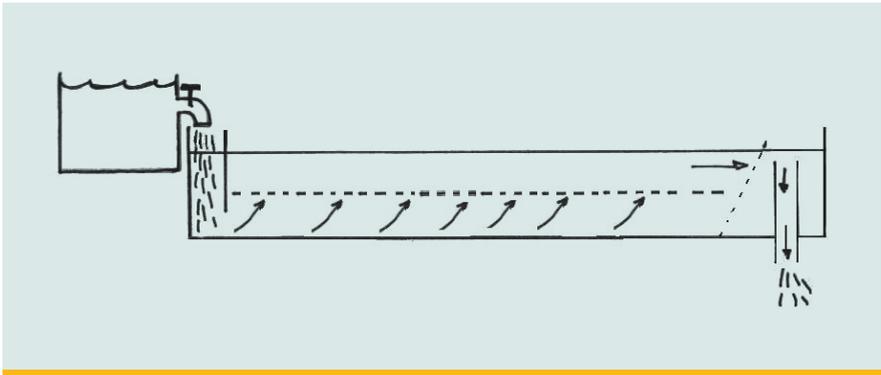


Ilustración 6. Pila con rejilla de incubación.

### Incubadoras californianas

Son bateas horizontales donde se disponen 4-8 bandejas en serie. El agua ingresa a presión desde la parte inferior y sale de la batea por la parte de atrás para pasar a la siguiente. Cada bandeja puede contener de uno a dos litros de huevas.

## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS

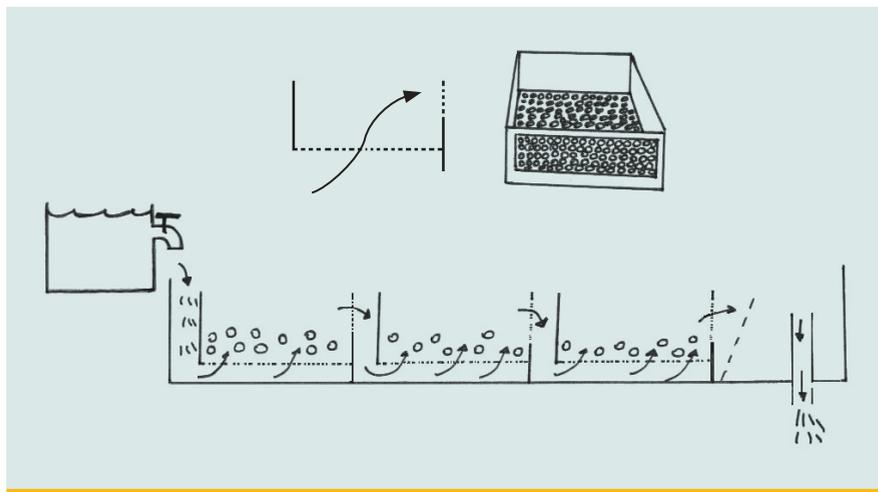


Ilustración 7.

Una de las ventajas de este sistema es que una vez que eclosionan se gira la bandeja, el agua entra de arriba abajo, y se pueden alimentar los peces en su interior

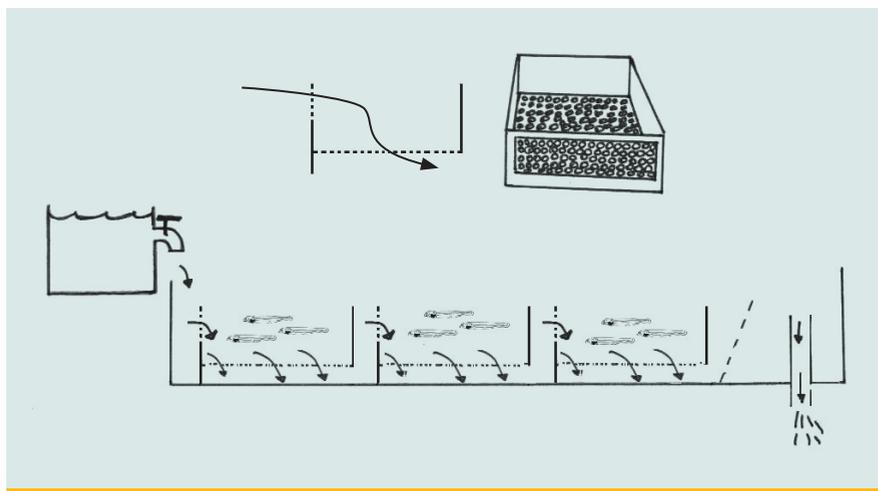
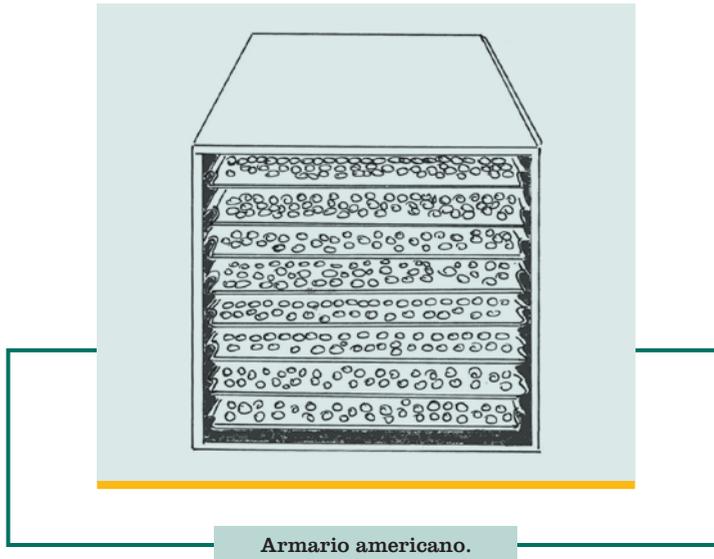


Ilustración 8.

### Armario americano

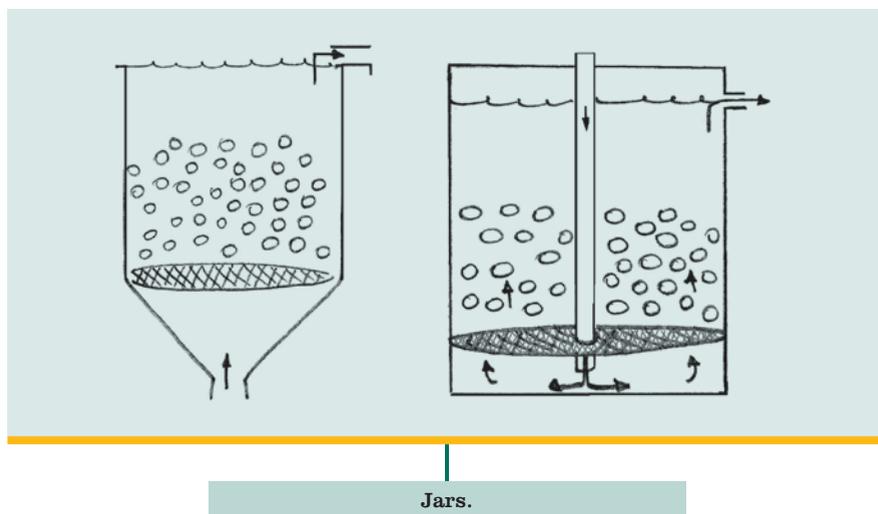
Es una variante de la incubación en batea en las que existen muchas rejillas, el agua cae de una rejilla a otra de arriba abajo. Permite cultivar muchos huevos por caudal de agua, por lo que cuando es necesario recircular para calentar o enfriar el agua es un buen sistema.



### Jars (vasijas italianas, cubos, tubos...)

Son recipientes, por lo general contruidos a partir de PVC, fibra de vidrio o materiales similares. El incubador recibe un flujo de agua muy bien oxigenado desde el fondo y el flujo normal de éste forzará a los alevines con saco a subir a la sección de cultivo. Las vasijas italianas permiten incubar grandes cantidades de huevos en poco espacio (hasta 400.000 en 70 l) El agua entra por el fondo, pasa por los huevos y sale hacia arriba.

Los cubos o tubos de incubación pueden ser de construcción propia. Pueden contener hasta 80 000 huevos. Los huevos se colocan al fondo del cubo sobre una rejilla por donde pasa el agua de abajo arriba y se incuban suspendidos en el flujo de agua. Las cáscaras y huevas muertas flotan y se evacuan con el flujo de agua.



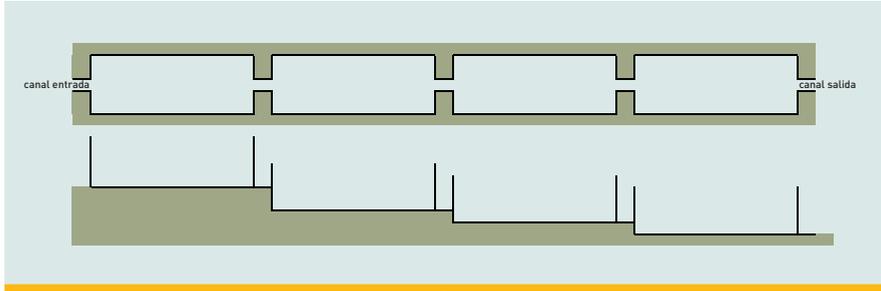
### 5.2. Estanques de alevinaje

Los alevines suelen cultivarse en tanques circulares de PVC o fibra de vidrio. Para las primeras fases los estanques circulares suelen dar mejores resultados. En ellos la limpieza es más sencilla y permiten cargas más elevadas que los estanques alargados. Suele ser necesario cubrirlos para evitar un exceso de exposición a la luz de los juveniles y para mantener la temperatura del tanque.

### 5.3. Estanques de engorde

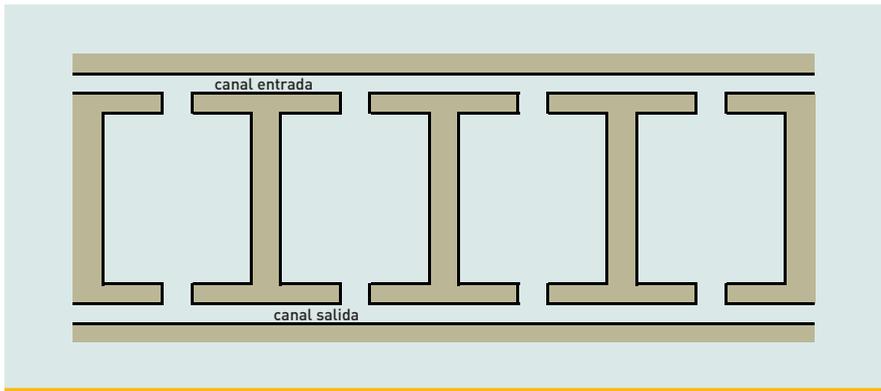
Los estanques suelen ser rectangulares y de hormigón, excavados en el suelo. Puede existir aún alguna instalación con estanques de tierra o mixtos tierra-hormigón, pero están en desuso. La longitud, ancho y profundidad dependerá del aprovechamiento del terreno, pero suele buscarse una profundidad de un metro aproximadamente para facilitar el manejo.

**Estanques en serie:** se construyen uno a continuación de otro para mejor aprovechamiento del agua. Entre estanques se necesita un salto o algún método de reoxigenación del agua. El número de estanques posibles en una serie se estimaba en función del caudal, pH, y pendiente del terreno para oxigenar el agua en cada salto.



Estanques en serie.

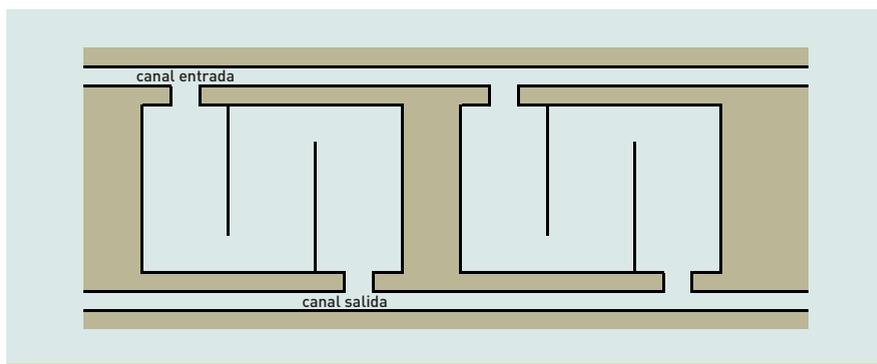
**Estanques en paralelo:** se adosan unos a otros por los laterales. Son los que más frecuentemente se utilizan, ya que aprovechan muy bien el espacio.



Estanques en paralelo.

Los «raceways» comenzaron a construirse en España en 1969. Son canales más largos (unos 100 m de longitud) divididos mediante rejillas a intervalos regulares, donde la corriente de agua está uniformemente distribuida, y se facilitan algunas labores de manejo, como la administración del alimento y la limpieza de los estanques. Su coste de construcción es menor, pero no es posible realizar en ellos operaciones de limpieza desinfección y secado salvo que se vacíe todo el canal.

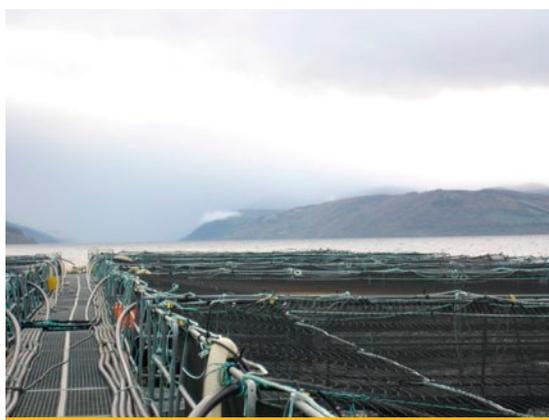
Los «serpentes» permiten obtener mayor velocidad de agua que los estanques en paralelo, y son relativamente sencillos de construir a partir de estanques en paralelo convencionales.



Estanques en serpentin.

### 5.4. Jaulas en lagos o en el mar

En España generalmente se cultiva en agua dulce en instalaciones en tierra, pero también existen instalaciones en tierra mixtas (de agua dulce o marina), jaulas en embalses y jaulas en el mar.

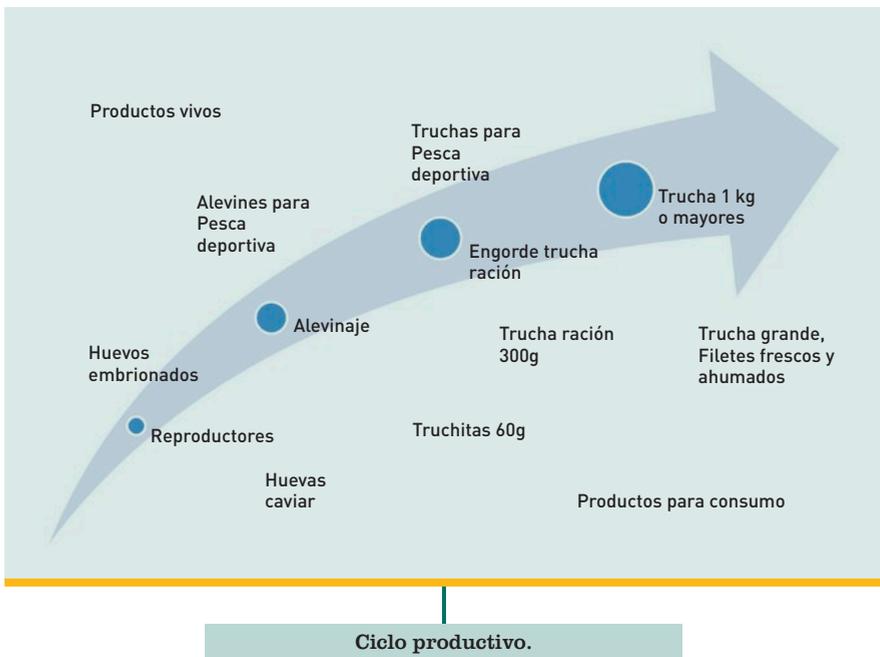


Jaulas en Lago Ness, Escocia. Fotografía de Marcos Ramallal.

En Escocia el engorde se realiza generalmente en jaulas en lagos, en Dinamarca existen instalaciones en tierra y jaulas en el mar. De las casi 300000 ton producidas en Europa en 2008 el 63 % fueron engordadas en agua dulce en su fase final.

La cría en jaulas es técnicamente más sencilla y rentable que los sistemas en tierra para ejemplares de gran tamaño. Las truchas transferidas a jaulas marinas tienen tasas de crecimiento más rápidas. Sin embargo, serán más vulnerables a problemas de calidad exterior de agua y a los depredadores.

## 6. EL CICLO PRODUCTIVO



Cada fase de la cría requiere condiciones ambientales y de manejo diferentes, por lo que los productores tienden a especializar los centros en una o dos de las fases del ciclo. Los productores de huevo se especializan en la cría y selección de reproductores, sus principales productos son las huevas embrionadas para los criadores de juveniles y caviar para consumo.

En otros centros normalmente se incuban los huevos embrionados y se crían hasta un tamaño en que puedan trasladarse a los centros de engorde o se sacrifican como truchitas pequeñas para consumo.

Las granjas de engorde se suministrarán de juveniles y los alimentan hasta tamaño ración (300-400 g) o hasta trucha de gran tamaño (1 kg o superior), generalmente para criar los grandes tamaños se crían triploides.

### **6.1. Reproducción**

#### **6.1.1. Selección de reproductores**

El manejo de los reproductores puede ser complicado y costoso, requiere unas condiciones de bioseguridad por las que conviene mantenerlos separados del resto de fases.

Generalmente se seleccionan los peces de crecimiento más rápido como reproductores, pero se pueden aplicar otros criterios de selección, como las tasas de eclosión, la fecha de puesta, el estado sanitario, el índice de conversión o la resistencia a determinadas enfermedades.

Las dietas de preparación para la puesta se suministran a partir del verano. Contienen menor porcentaje de grasa y proteína, pero están enriquecidas con vitaminas. Pueden suplementarse carotenoides para colorear las huevas, pero parecen tener influencia en la supervivencia de las huevas o alevines.

La caída de la temperatura estimula el desarrollo gonadal y provoca el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios. Es el momento en que se deberían separar los sexos en diferentes estanques. Los reproductores se marcan o se separan en función del año de nacimiento para reconocer las generaciones y eliminar las antiguas.

Durante la puesta no se les alimenta. El momento adecuado para la puesta se determina por la distensión abdominal de la hembra. Para facilitar el manejo se les anestesia previamente a la retirada de las huevas o esperma.

### 6.1.2. Fecundación

El **método seco** de fecundación sin mezcla de agua es el método más común, ya que la motilidad del esperma dura muy poco tiempo y cuando las huevas entran en contacto con agua, el micropilo (canal por donde penetra el gameto masculino) se cierra rápidamente y el huevo ya no podrá ser fertilizado.



Ilustración 9. Desove de trucha, hembra y macho.  
Piscifactoría Leonardi, Trento-Italia (1982).  
Fotografía de Isabel Márquez.

Los peces de ambos sexos se lavan para retirar la solución anestésica, y se les seca cuidadosamente. Los huevos se retiran cuidadosamente presionando con la mano el abdomen de la hembra, y se dejan caer a un cubo o bandeja. Luego se añade esperma (puede provenir de un macho al que se acaba de retirar por el mismo procedimiento, o de esperma criopreservado). Se busca obtener de 400 000 a 1 millón de espermatozoides por óvulo, por lo que generalmente se fecundan de 2 a 4 hembras por macho, pero normalmente se añade esperma de dos machos para evitar el riesgo de esterilidad. 1 cm<sup>3</sup> de semen contiene alrededor de un millón de espermatozoides.

A la mezcla se le añade un poco de agua. La fecundación ocurrirá en los 20 segundos posteriores a la adición de agua, tiempo en el que el esperma es móvil. El tiempo total de supervivencia del esperma en agua es de 90 segundos.

Normalmente la mezcla se mantiene a oscuras y en reposo cerca de una hora antes de aclarar, desinfectar y enviar a incubación. Molestar a los huevos la primera hora puede ocasionar graves pérdidas. Los huevos fertilizados son transferidos a una hatchery donde se depositan en agua. Aquí los huevos se hinchan en un proceso que se conoce como «endurecimiento». La desinfección se suele realizar con agua oxigenada o con yodoforos.

Los machos son aptos como sementales desde el 2.º año y generalmente son comercializados una vez utilizados.

Las hembras se utilizan desde el tercer año, ya que antes las huevas son demasiado pequeñas. Pueden recuperarse para ovular durante algunos años. En su 4.º y 5.º año las huevas serán de calidad óptima, después conviene desecharlas.

En los machos adultos se detiene el crecimiento cuatro meses al año, por lo que muchos centros compran ejemplares de 1 a 3 años en vez de criarlos ellos mismos.

Si se conserva a los reproductores tras la puesta, hay que suplementarles vitaminas y pueden necesitar terapéuticos.

Si se hace variar artificialmente la cantidad de horas de luz diarias se llega a provocar la puesta de reproductoras fuera de estación (Maise y Breton, 1983).

Así, con la selección de ejemplares y/o con la variación del fotoperiodo, se obtienen las puestas escalonadas.

### 6.1.3. Puesta escalonada

Para poder suministrar huevos todo el año los proveedores de huevos recurren a diversos métodos:

- **CONSERVACION DE GAMETOS**

Sólo es útil para conservar esperma, ya sea en refrigeración (semanas) o congelación (meses). Los óvulos no son viables tras unos días.

- **TEMPERATURA DE INCUBACION**

Se puede aumentar el tiempo de incubación disminuyendo la temperatura del agua, pero esto conlleva a su vez un alto riesgo de infección de huevos, por lo que no es un método rentable.

- **ESTIRPES PRECOCES /TARDIAS**

Es un método interesante hasta el punto en que la selección de los lotes se vuelve demasiado compleja. Generalmente se combina con el fotoperiodo.

- **FOTOPERIODO**

La gametogénesis tiene lugar en los días largos (junio, 16 horas) y los óvulos y espermatozoides maduran cuando disminuyen las horas de luz (diciembre, 8 horas)

Para madurar a los reproductores, tanto machos como hembras, se mantienen en estanques cubiertos mediante un toldo o en una nave cerrada. La luz será regulada por un reloj y se disminuirá de 16 a 8 horas gradualmente durante 28 semanas.

Normalmente se va disminuyendo 15 o 30 min por semana.

Si el agua está lo suficientemente fría todo el año (<12 °C) este sistema también puede utilizarse para realizar puestas cada 6 meses. Una vez realizada la puesta natural de primavera se induce la siguiente por fotoperiodo artificial.

Normalmente los huevos más pequeños suelen ser los de agosto-septiembre, ya que son la puesta más alejada en el tiempo de la de su ciclo natural.

- **6.1.4. Selección e investigación genética**

Gracias a más de siglo y medio de domesticación, las líneas que ahora se crían son varias veces más rápidas en crecimiento que las originales. Sin embargo, la especie conserva aún una gran diversidad genética y existen pools de genes bien conservados en muchas partes del mundo.

## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS

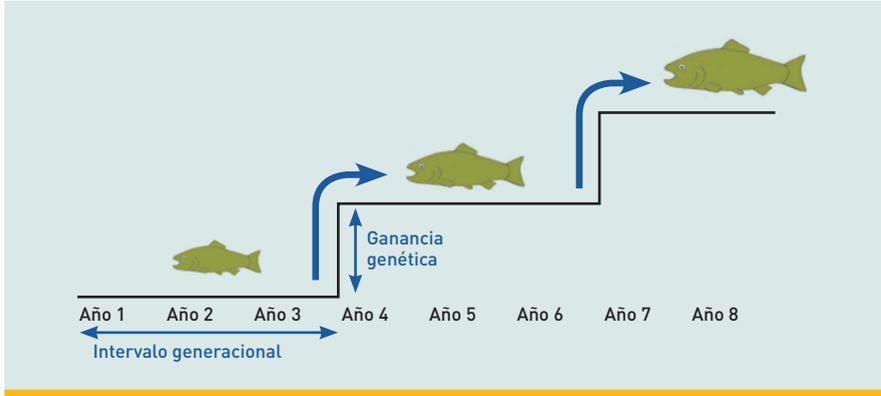
La cría selectiva es un aspecto clave para el desarrollo de cualquier sector ganadero. Países como Canadá, Chile, EEUU o Dinamarca disponen de programas nacionales o regionales de selección de trucha arco iris. La selección o cría selectiva consiste en la mejora de los genes de una población a través de sus expresiones o caracteres. Los caracteres (expresión de los genes) pueden ser cualitativos o cuantitativos. La genética de los caracteres cualitativos es sencilla y no está influida por el ambiente. Estos caracteres están controlados normalmente por uno o dos genes.

GENOTIPO	FENOTIPO	GENOTIPO	FENOTIPO
AA	 Color normal	AA	 Color normal
Aa	 Color normal	Aa	 Color normal
aa	 Albino	aa	 Azul plata

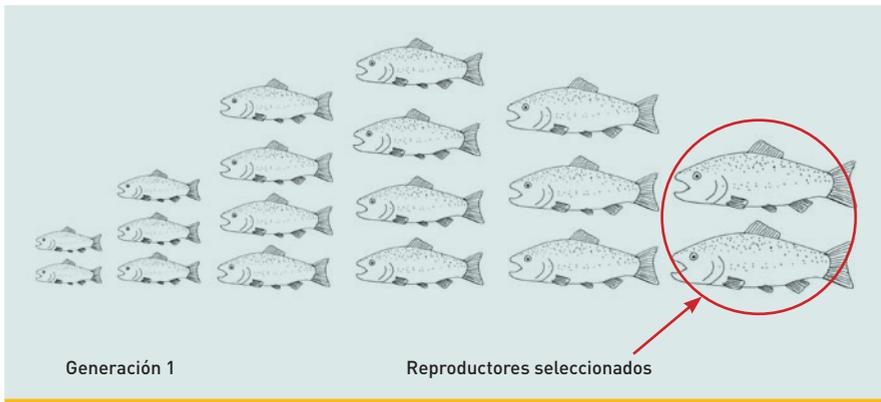
**Ejemplos de caracteres cualitativos en trucha arco iris. Los colores corporales albino o azul plateado están controlados en cada caso por un gen autosómico con acción génica de dominancia completa. El carácter recesivo albino o azul plata sólo se expresará en individuos homocigóticos recesivos.**

Un carácter cuantitativo o complejo es aquél cuya expresión se ve afectada por más de un gen y por el ambiente. La mayoría de los caracteres de interés económico son cuantitativos.

Para realizar la cría selectiva, el criador elige como reproductores aquellos peces que poseen determinados caracteres y descarta aquellos que no los poseen. Si tiene éxito, la siguiente generación crecerá más rápido, tendrá el color deseado, o desovarà en la época que el productor desea. Es lo que se denomina ganancia genética.



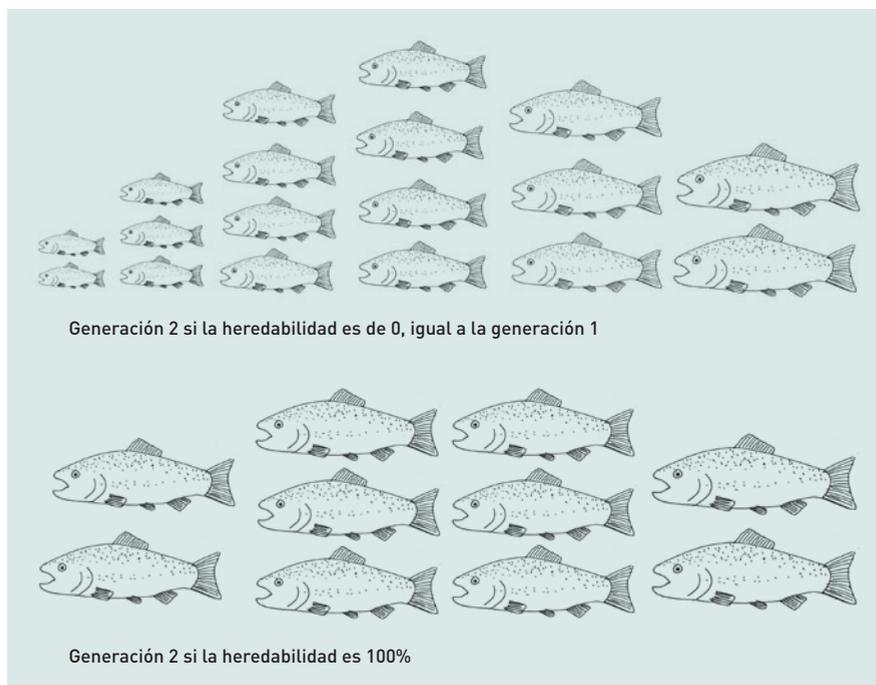
Los principales métodos de cría selectiva se describen en el anexo 4.



Además de la adecuada selección de los reproductores adecuados, la respuesta a la selección o ganancia genética dependerá de la intensidad de la selección y de la variabilidad genética.

Los programas de selección generalmente comienzan con la selección de un par de rasgos como puede ser peso corporal y edad de maduración. Como la selección de determinados caracteres puede provocar la expresión de caracteres indeseables, otro de los objetivos principales de la selección suele ser la prevención de la endogamia. El crecimiento es un carácter moderadamente heredable sobre el que se pueden obtener resultados rápidos y a bajo coste con técnicas genéticas cuantitativas tradicionales.

## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS



**Respuesta genética anual = (Intensidad de selección x precisión de la evaluación x variabilidad genética)/intervalo generacional.**

Las líneas con cierta mezcla de steelhead se utilizan en algunos centros para la cría en agua de mar. La supervivencia en engorde en ambiente marino no suele encontrarse en los primeros rasgos a seleccionar, pero puede mejorar al estar la respuesta genética correlacionada con otros rasgos.<sup>6</sup> La resistencia a enfermedades es un rasgo de menor heredabilidad y mucho más difícil de cambiar<sup>7</sup>. Para este tipo de rasgos suele recurrirse a la selección por familias o a técnicas de selección genética avanzada.

En cuanto a la investigación, los próximos años van a estar marcados por el desarrollo de las herramientas basadas en técnicas de selección genómica, que ya están revolucionando otros sectores ganaderos. Aunque

<sup>6</sup> Vehviläinen H. *et al.* (2010)

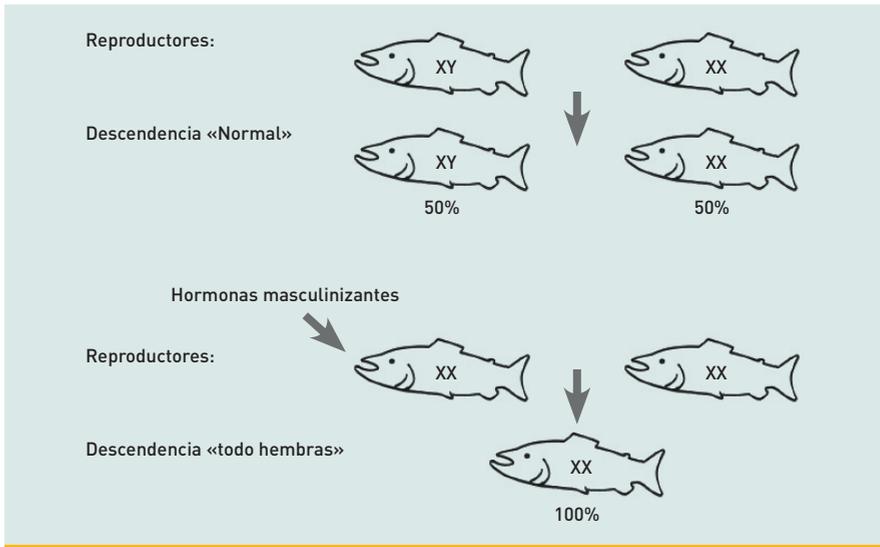
<sup>7</sup> La Patra, Scott E.; Towner, Richard (2006).

aún es un método costoso, permite obtener resultados relativamente rápidos en cualquier rasgo.

### 6.1.5. Truchas de un solo sexo: Las ventajas de criar sólo hembras

El desarrollo gonadal temprano de los peces cultivados incide negativamente en el resultado económico de la explotación.

Con el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios el índice de conversión se dispara, ya que toda la energía se dirige a la producción de esperma o huevos. Además, el valor comercial de los ejemplares disminuye: el color y la textura de la carne cambia. Como las hembras maduran más tarde (a más edad y más tamaño) que los machos, es una ventaja productiva criar sólo hembras.



Para producir una población de hembras monosexo, los alevines se alimentan con una pequeña cantidad de hormonas masculinas (metil 17 testosterona) durante el primer mes de vida de los alevines. Así todo el lote se convierte en machos (también los llaman «neomachos»). Se crían hasta su maduración sexual. Estas hembras convertidas a machos siguen siendo XX.

Sus testículos se desarrollarán y producirán esperma X fértil. La única diferencia es que no tienen evacuación, por lo que son sacrificadas para extirpar el testículo. El esperma de estos peces se cruzará con huevos de hembras normales, resultando así huevos todas XX.

Sólo los reproductores son de sexo-invertido, por lo que el pescado que se comercializa no ha sido expuesto a un tratamiento hormonal.

También puede feminizarse el pescado, tratando con estradiol los embriones todos se convertirán en hembras.

Otro método es la pseudofecundación: los espermatozoides se inactivan con rayos UV o gamma, y el huevo se desarrolla solo con el material XX de la hembra.

### 6.1.6. Truchas estériles (triploides)

Si convertimos las hembras monosexo en triploides (tres series de cromosomas) serán estériles, por lo que podrán comercializarse en tamaños y edades mayores.

Los triploides, tanto fario como arco iris también tienen muchas aplicaciones en repoblación, ya que garantizan la no interferencia con poblaciones autóctonas y permiten alcanzar grandes tamaños. En Reino Unido por ejemplo, se repuebla con arcoíris «todo hembras», y trucha común diploide o triploide, según los casos. Las arco iris se utilizan en cotos cerrados y algunas aguas abiertas. En aguas abiertas donde existen poblaciones naturales de fario se recomienda repoblar con triploides fario.

Los últimos record mundiales de pesca de arco iris corresponden a piezas triploides pescadas en Canadá, y superan los 20 kg de peso.

La triploidía se desarrolla exponiendo huevos hembras recién fertilizadas a un shock de presión o temperatura. En ese momento el glóbulo polar y el óvulo aún no se han separado y cada uno contiene un material genético «n», que junto con el del espermatozoide suman los 3n. El shock provoca que no se expulse el glóbulo polar, por lo que resultará un individuo con cromosomas 3n y por tanto estéril.

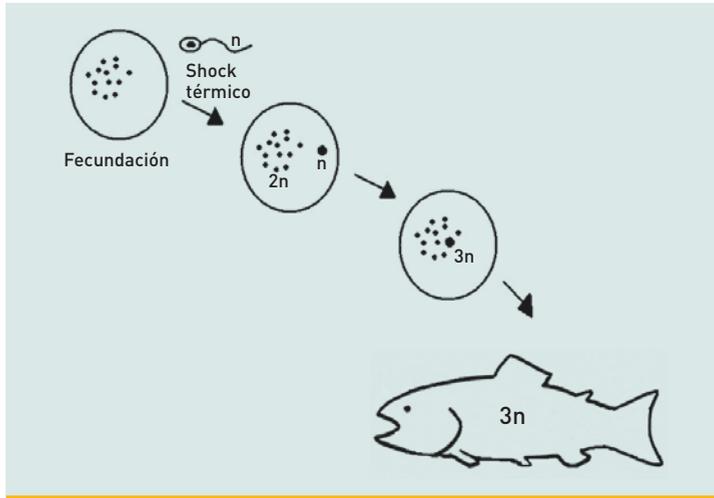


Ilustración 10. Fundamentos de obtención de truchas triploides estériles. Según Chavassus *et al.*, 1979, y Bretón (2007).

## 6.2. La incubación

La incubación consta de tres fases:

- Formación De Embrión.
- Eclosión o Nacimiento
- Reabsorción De Saco Vitelino

La primera fase se realizará en la sala de incubación de la granja de reproductores. Normalmente las dos siguientes en la sala de incubación de otro centro donde se criarán los alevines.

La duración de la incubación (tagesgrade) es una constante que depende de la especie y la temperatura del agua.

$$GD = \text{grados día} \quad GD = T \times N$$

T = Temperatura media.

N = n.º días incubación (Ni) para formación embrión (Ne) o reabsorción de saco vitelino (Nr).

## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS



Ilustración 11. Huevos embrionados y alevines con vesícula de trucha arco iris. Fotografías de la autora (arriba) y de Isabel Márquez (abajo).

Formación embrión	Eclosión	Reabsorción
		
200.º día	290-330.º día	180.º día
6 °C-18 °C	6 °C-18 °C	6 °C-18 °C
34-11 días	16-55 días	10-30 días

Tabla 2. Grados día según Vivier (1954) para trucha arco iris.

Es decir, a temperaturas más frías, la incubación durará más tiempo que a temperaturas cálidas.

### 6.2.1. Formación De Embrión.

Inmediatamente tras la fecundación los huevos pueden manipularse durante unos cinco días, pasado ese tiempo hasta la formación del huevo embrionado serán muy sensibles. Estos huevos recién formados suelen llamarse «huevos verdes». Una vez formados los ojos, éstos serán visibles a través de la cáscara, a éstos se les llama huevos embrionados (con ojo).

Los huevos se incuban en reposo hasta la fase de ojos, en bandejas en flujo vertical o en incubadoras en tubo. La exposición directa a la luz se debe evitar durante todo el desarrollo embrionario. Es conveniente que el agua sea de gran calidad, de manantial o filtrada y desinfectada. La temperatura óptima durante la incubación se encuentra entre los 7 y 12 °C.

Una vez aparece el ojo, los criadores antes de venderlos suelen someterlos a un «shock». Así se diferencian los huevos no fertilizados, que blanquean y pueden retirarse antes de que se infecten con hongos. Esto puede hacerse por varios métodos. Uno sencillo es verterlos de un cubo de incubación a una bandeja, o elevar la bandeja de incubación fuera del agua durante 10 segundos.

Un método muy sencillo y práctico para lotes grandes es sumergir las bandejas en una solución hipersalina, con lo que los huevos muertos flotan y pueden retirarse fácilmente.

También existen máquinas clasificadoras/contadoras ópticas o de «rebote». Las ópticas diferencian los huevos muertos u opacos de los vivos o translúcidos. Las de rebote diferencian a los muertos por su escasa elasticidad.

Una vez eliminados los huevos muertos y contados, los huevos embrionados se empaquetan y transportan en bandejas agujereadas de poliestireno. Estas bandejas están en el interior a su vez de una caja de poliestireno y llevan intercaladas o en la parte superior capas de hielo. Así se mantienen en atmósfera húmeda y fría y pueden recorrer grandes distancias. El proveedor calculará el envío para que eclosionen uno o dos días después de recepción.

### Compra y recepción de huevos embrionados (con ojo)

Antes de cualquier traslado, hay que comprobar que el centro de origen tiene un estado sanitario igual o superior al centro de cría. Los piscicultores pueden basarse exclusivamente en la legislación vigente, enfermedades listadas por la UE y su país de origen, (para España en este momento SHV, IHN, ISA) o solicitar al proveedor análisis recientes, inspecciones sanitarias, certificados, etc. de enfermedades que sea aconsejable por el riesgo que implican para la instalación de recepción.



Una vez recepcionados, es conveniente realizar una breve inspección y fijarse al menos en el estado del hielo y medir la temperatura de la hueva.

Para medir la temperatura hay que introducir un termómetro entre las huevas. Hacer varias medidas en diferentes bandejas teniendo en cuenta que la temperatura puede variar dependiendo de la proximidad con

el hielo. Si es necesario agrupar las bandejas por temperaturas para la aclimatación (ver anexo 2).

Una vez inspeccionados, se realiza el conteo y la aclimatación de los huevos.

### Conteo de huevos

En caso de no disponer de contador, existen muchos métodos manuales, como la medición del volumen escurrido, el desplazamiento de agua, peso, recuento del número de huevos en un canal en V (método de Von Bayer), etc. No obstante, se detallan los dos más exactos en el anexo 1.



### Aclimatación

Las huevas deben ser aclimatadas a la temperatura del agua de los incubadores, la cual no debería ser superior a los 14 °C. La aclimatación evita el shock térmico, cambiando poco a poco la temperatura de los huevos recibidos hasta la temperatura del agua de incubación. Se puede establecer como valor de seguridad 1 °C cada 20 minutos (ver anexo 2). Una vez aclimatados conviene desinfectarlos según las instrucciones del proveedor de hueva y del veterinario, y aclarar bien el desinfectante antes de colocar en los incubadores.

Los huevos deberían mantenerse en una hilera de profundidad en bandejas de incubación.

Es importante retirar diariamente los huevos muertos (blancos vs. traslúcidos), ya que se infectarán con hongos. Una vez que comienza la infección fúngica afectará también a los huevos vivos.

Esta limpieza se puede hacer manualmente mediante pipeta con pera o con pinzas.

Las infecciones por hongos pueden ser controladas utilizando diversos desinfectantes o fungicidas en el agua de entrada de incubación durante unos minutos varios días, pero no durante los días de eclosión.

### 6.2.2. Eclosión o nacimiento

La eclosión del lote por lo general durará 2-3 días, en ellos las cáscaras de huevo son extraídos regularmente, así como muertos y alevines deformes.

Cuando la incubación tiene lugar en un enrejado, los alevines se cue-  
lan hacia abajo.

Si tiene lugar en tubos o bandejas, se transfieren al fondo de las pilas.

### 6.2.3. Reabsorción De Saco Vitelino

Una vez eclosionados, la profundidad del agua se mantendrá baja (8-10 cm), y con un caudal reducido. Los peces miden 15 mm y conservan el saco vitelino (de ahí que se les llame sac-fry en inglés).

El saco es muy voluminoso y más denso que el agua, por lo que los alevines se mantienen acostados sobre un lateral.

Hay que seguir retirando las bajas, pero hay que hacerlo extremando las precauciones, ya que la membrana que protege el saco es muy sensible, y cualquier mal manejo puede causar muchas pérdidas.

Cuando nadan lo hacen de forma incoordinada y huyen de la luz, por lo que los alevines se mantienen sin luz directa o a oscuras hasta que están listos para ser alimentados.

La reabsorción dura 180º día en arco iris. El alevín vesiculado transformará el saco en tejidos menos densos por lo que aumentará de peso mientras lo absorbe.

La supervivencia de la incubación suele rondar el 90%-80%, dependiendo del proveedor.

### 6.3. Alevinaje

#### La primera alimentación

Cuando están a punto de reabsorber completamente el saco vitelino, hay que elevar el nivel de agua y el caudal. Los peces no son grandes nadadores en este momento, por lo que ha de mantenerse un caudal adecuado. En este momento los peces emergen del fondo y pasan a nadar en patrón dorso-ventral «swim up fry», y comienzan a buscar comida. Sólo permanece un pequeño botón del saco vitelino. Con la primera alimentación suele haber un repunte de mortalidad.



Hay que esperar al momento en que un 50% está ya buscando comida. Comenzar antes ensuciará las pilas y esperar demasiado los debilitará. Si existe espacio suficiente, los piscicultores aprovechan para desdoblar las pilas, trasladando a un tanque aquellos más adelantados en el desarrollo.

La alimentación se realiza a mano los primeros días y muy frecuentemente (24-10 veces). Cuando la alimentación ya está instaurada se puede pasar a alimentación automática con alimentadores de cinta, pero sigue siendo necesario vigilar y alimentar «a demanda». Cuando los peces comienzan a tener suficiente tamaño (unos 3 cm de largo) la alimentación comienza a basarse en tablas relacionadas con temperatura y tamaño del pescado. Los productores suelen ajustar esta cantidad según el comportamiento de los peces y las condiciones ambientales.



**Ilustración 12. Piscifactoría  
Hermanos Fariña Andrade.  
Fotógrafo: Miguel Ares.**

### El traslado

En algún momento la densidad recomendará trasladar a los alevines a tanques más grandes, a veces ya en el exterior de la nave de incubación.

Las truchas se trasladarán en contenedores plásticos, bolsas o pequeños vehículos de transporte.

Durante los traslados y manipulaciones como vacunación, se realizan también pesajes y conteos del lote.

Una vez en el exterior serán susceptibles a cambios en la calidad del agua, la luz, y posibles depredadores. Es frecuente para esta primera fase disponer de tanques circulares.

En diversos períodos de su vida, los peces serán vacunados siguiendo el plan vacunal de la explotación. Se explican los pasos de un ejemplo de vacunación por inmersión en el anexo 3.

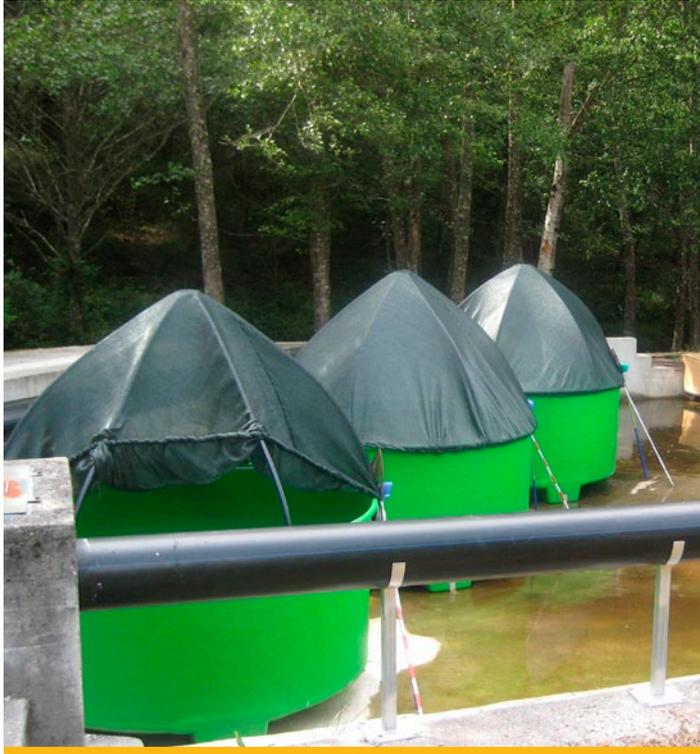


Ilustración 13. Lugo, 2010.  
Fotografía de la autora.

En las explotaciones positivas a *Yersinia ruckeri* se suele vacunar por inmersión a los 4 g de peso, siempre que el agua esté por encima de 8 °C.

Los peces se mantendrán en ayuno un par de días antes de sumergirlos en la solución vacunal durante unos segundos.

Cuando los peces alcanzan un tamaño determinado (unos 7cm, pero depende mucho de las prácticas de cada granja) el piscicultor suele optar por alimentar con alimentadores «a demanda».

Según continúa el crecimiento, se controla el oxígeno disuelto y los peces se trasladan a tanques más grandes para reducir la densidad.

En la cría de alevines y juveniles la supervivencia rondará el 85-90%.

### 6.4. Engorde

Se suele comenzar a hablar de engorde cuando los alevines llegan a 8-10 cm de longitud (250 peces/kg), momento en que se suelen trasladar a otras instalaciones.

El engorde comienza, generalmente, en estanques de pequeño tamaño, entre 20 y 60 metros cuadrados, a donde llegan los peces procedentes del centro de alevinaje.

Se parte de alevines de unos 10 g. y se alimentan diariamente hasta alcanzar el tamaño de comercialización que oscila entre 200-1.500 g. Algunas granjas engordan las truchas hasta 4.000 gr., aunque la mayor parte de la producción se centra en las truchas de ración de entre 250-300 g (16-20 piezas por caja de 5 kg), para lo que según las temperaturas, se suelen necesitar unos 10 a 12 meses.

A medida que van creciendo, los peces se distribuyen en estanques mayores. La densidad de cultivo varía mucho en función de la renovación de agua y la disponibilidad de oxígeno. Se comienza normalmente con 10 Kg. por metro cúbico pudiendo llegar a los 40-50 Kg. por metro cúbico de agua. En sistemas de alta renovación y recirculación la densidad media puede superar los 60 Kg/m<sup>3</sup>.

En condiciones rutinarias las cifras de mortalidad en engorde citadas con más frecuencia para trucha arco iris son del 2 al 5%.

### 6.5. Sacrificio

Los métodos de recolección varían, pero tras la purga generalmente se baja el nivel de agua y se concentran los peces con redes para ser bombeados y transportados a la planta de procesado. El sacrificio se realiza generalmente por electricidad, pero en cualquier método se mantendrá el estrés al mínimo, para evitar mermas en la calidad de carne.

Con los salmónidos grandes conviene realizar un aturdimiento irreversible con electricidad u otro método y realizar posteriormente un corte en la agalla para desangrar la pieza. En las truchas de tamaño ración la exanguinación no es necesaria ni viable.

Una vez sacrificados hay que añadir hielo y procesar inmediatamente. Generalmente se evisceran eliminando branquias y paquete visceral, y se comercializan con cabeza y cola para mantener la frescura más tiempo.

## 7. ALGUNAS OPERACIONES DE MANEJO

### 7.1. Alimentación

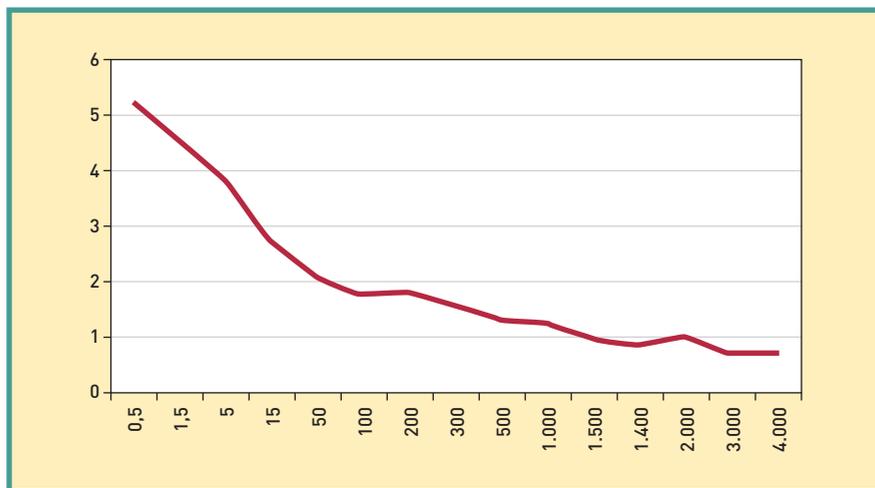
La ración diaria oscila entre el 1% y el 4% del peso vivo en función del tamaño, la temperatura y el oxígeno. En épocas estivales, si se está recirculando el agua, conviene tener en cuenta otros parámetros como los compuestos nitrogenados o el CO<sub>2</sub> que se generarán a la hora de calcular la ración.

Tamaño pez (g.)			Temperatura del agua (°C)									
De	Hasta	Tamaño Grano (mm)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0	0,5	0,3 a 1,0		2,3	2,8	3,3	3,9	4,5	5,2	6,0	4,3	
0,5	1,5	0,5 a 1,1	0,80	1,80	2,10	2,80	3,40	4,00	4,50	5,20	3,60	3,19
1,5	5	1,1	1,10	1,50	2,00	2,30	2,80	3,30	3,80	4,30	3,40	2,65
5	15	1,5 a 1,9	1,50	1,02	1,40	1,90	2,30	2,50	2,70	3,00	2,50	2,23
15	50	1,9	1,90	1,03	1,22	1,42	1,64	1,86	2,07	2,24	2,32	2,23
50	100	2,5 a 3	0,79	0,92	1,00	1,28	1,46	1,80	1,75	2,15	1,80	1,45
100	200	4 a 6	0,72	0,82	1,00	1,15	1,31	1,47	1,80	1,90	1,60	1,31
200	300	4,5	0,66	0,80	1,00	1,15	1,31	1,47	1,58	1,64	1,57	1,42
300	500	4,5	0,60	0,78	0,83	0,96	1,10	1,22	1,32	1,36	1,35	1,30
500	1000	6,5	0,52	0,70	0,82	0,95	1,10	1,10	1,25	1,35	1,28	1,10
1000	1500	6,5	0,45	0,53	0,63	0,73	1,06	0,93	1,00	1,03	0,99	0,83
1000	1400	8	0,45	0,29	0,58	0,67	0,76	0,84	0,9	0,91	0,85	0,67
1400	2000	8 a 9	0,4	0,54	0,63	0,73	0,83	0,93	1,00	1,03	0,99	0,83
2000	3000	8 a 9	0,34	0,40	0,48	0,55	0,62	0,69	0,75	0,78	0,75	0,62
3000	4000	8		0,23	0,46	0,63	0,60	0,66	0,71	0,72	0,67	0,52

Tabla realizada a partir de diferentes productos y fabricantes por Marcos Ramallal.

Las primeras etapas necesitan una ración mayor que los juveniles y adultos, como podemos ver en el gráfico.

## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS



Porcentaje de alimentación según peso del pez (g.), a temperatura constante de 14 °C.

En el engorde se pueden utilizar comederos autoservicio, vehículos distribuidores o sistemas automatizados donde el pienso se distribuye por tuberías con agua o aire a presión. La alimentación manual se mantiene en granjas de pequeño tamaño o cuando conviene vigilar a los peces y alimentar a demanda.

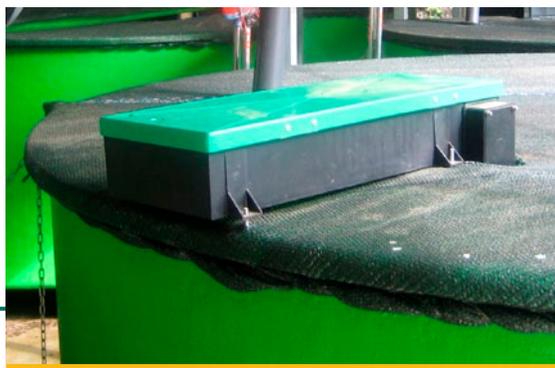


Ilustración 14. Alimentador de cinta.  
Lugo, 2010. Foto de la autora.

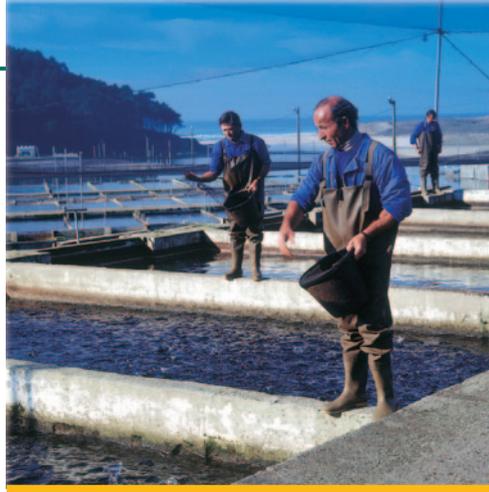


Ilustración 15. Alimentación manual.

Gracias a la alimentación con piensos energéticos y la eficiencia en el manejo, se consiguen **índices de conversión** de 0,8 a 1. Como norma general, se pueden considerar los siguientes índices:

Trucha Arco iris:

- Ración (250-350g): 0,9
- Trucha grande (kg) 1,1
- Trucha extragrande (varios kg) 1,3

El uso de los piensos extruidos, con un alto contenido lipídico (de un 20 a un 26%) se ha generalizado incluso en los medicados. El alimento extruido proporciona mejores crecimientos y supervivencias que los prensados. Al tener menor densidad y permitir mayor nivel lipídico son más estables en agua, lo que junto con su mayor flotabilidad los hace muy adecuados para las épocas de altas temperaturas ya que generan menos residuos.

Las necesidades de proteína varían entre un 35 y un 45% según se trate de una ración de crecimiento o de mantenimiento. Los jóvenes necesitan porcentajes más altos. También hay que tener en cuenta la digestibilidad y la calidad de las proteínas utilizadas.



Ilustración 16. Piensos extruidos para trucha.  
Fotografía de Carmela Gil.

La temperatura que se alcanza en la extrusión ronda los 95 °C y la presión máxima son 40 bares en la última parte del extrusor. De ahí el pienso pasa por un secador, un engrasador y de ahí al enfriador. El secador elimina la humedad sobrante para dejar hueco al aceite. En el enfriador el aceite que se ha añadido en caliente adquiere consistencia.

También se están comercializando algunos productos de gamas muy altas que son «aglomerados» en frío, siguiendo el sistema de los algodones de azúcar.

### 7.1.1. Salmonización

Los crustáceos y moluscos que ingieren son los que aportan ese color asalmonado a las truchas en el medio natural. Si se añadiesen a la dieta harinas de crustáceos haría falta que ocupasen un 10 a 20% de ración, por lo que para obtener dietas salmonizantes eficientes se añaden colorantes (astaxantina y cantaxantina). La salmonización se realiza en los tres meses anteriores a la venta, aunque según la dieta, se puede concentrar o alargar el tiempo de salmonización. Se obtienen mejores resultados en períodos más largos. Hay que realizar muestreos en los últimos días antes del sacrificio para comprobar que se obtiene el grado de salmonización deseado.

En 2003 la 2003/7/CE modificó las condiciones para la autorización de la cantaxantina en los piensos de la Directiva 70/524/CEE. Desde entonces el límite de cantaxantina en el alimento para salmónidos es de 25 mg/kg. Para obtener una salmonización eficaz en un periodo de tiempo razonable hace falta una dosis mayor, por lo que ahora se utiliza solo astaxantina.

### 7.1.2. Ayuno o purga

Antes de clasificar o de cualquier otra operación de manejo (transporte, vacunación, etc.) conviene mantener el pescado uno o varios días en ayunas. La digestión supone un gran gasto de oxígeno y energético, por lo que hace al pescado más vulnerable al manejo.

También se realiza un ayuno previo al sacrificio. Así su aparato digestivo estará totalmente vacío en el momento del procesado, y al no entrar en contacto las enzimas digestivas con el músculo, se alarga la vida útil del producto.

### 7.2. Clasificación

No todos los peces crecen al mismo ritmo dentro de un grupo. Algunos crecerán más rápido que otros, y según pase el tiempo, los peces más grandes comerán más que los pequeños, agudizando la dispersión de tamaño. Las clasificaciones por tamaños permiten mejorar la gestión de la alimentación y por tanto mejorar el crecimiento, por lo que las truchas serán sometidas a varias a lo largo de su vida.



Ilustración 17. Cercado de peces antes de traslado.  
Foto de Marcos Ramallal (izquierda), Grupo Tres Mares S.A. (derecha).

También se utiliza ligada al sacrificio para evitar sacrificar peces demasiado bajos de peso para su comercialización. Así, estos vuelven al estanque y sólo los más grandes se sacrifican.

La clasificación implica agrupar en dos o tres tamaños la totalidad de los peces de un estanque. Las truchas son fáciles de manejar y clasificar, siempre que se observen ciertas precauciones.

Existen muchos sistemas, y se pueden realizar dentro o fuera de los tanques donde se encuentran. Normalmente se bombean los peces a máquinas que contienen un juego de tuberías paralelas, y así se separan en tres según tamaño del pez: los lotes de «cabeza», «medio» y «cola». También existen métodos manuales de selección con barrotes o tuberías.

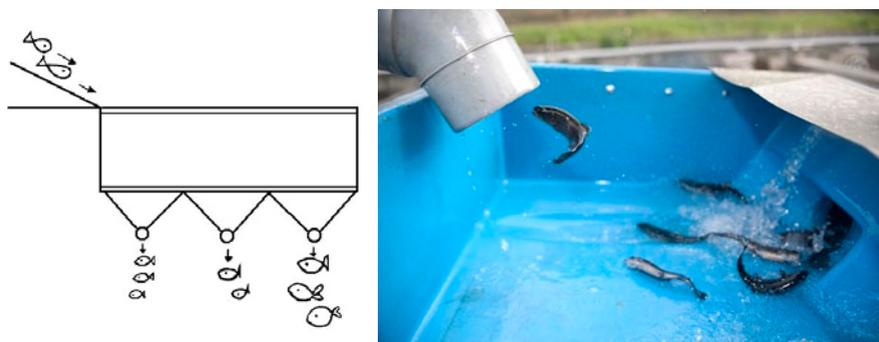


Ilustración 18. Esquema de máquina clasificadora.  
A partir de Lekang (2013).

Dentro del tanque rectangular se puede mover una rejilla clasificadora desde el inicio hasta el fin, sólo los peces más pequeños podrán atravesarla. Aprovechando el estímulo de la alimentación también puede instalarse una rejilla clasificadora fija en el estanque, sólo los peces más pequeños la atravesarán para poder alimentarse (Ilustración 19).

### 7.3. Pesaje y conteo

Los **conteos** y la **determinación del peso medio** del pescado permiten estimar las tasas de crecimiento, los índices de conversión, el coste de producción, la capacidad de carga y las previsiones de venta.

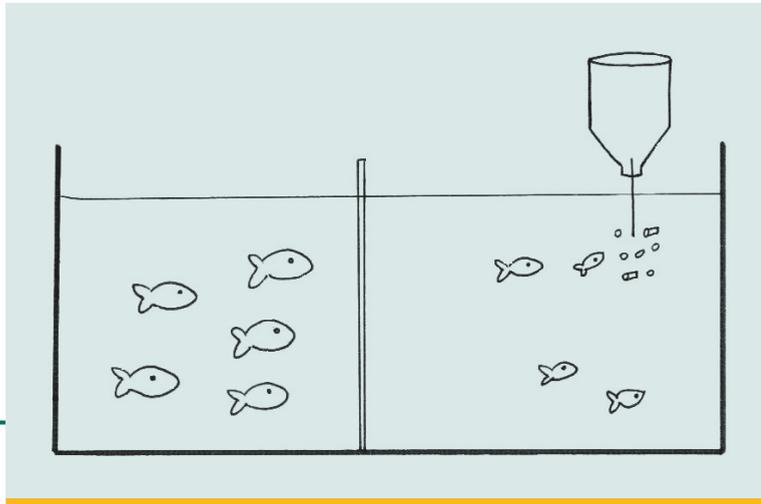


Ilustración 19. Esquema de funcionamiento de rejilla clasificadora. A partir de Lekang (2013).

Existen muchos métodos e incluso sensores para determinar el peso medio del pescado y la dispersión entre tamaños, pero uno sencillo es coger con una sacadera 50 peces, pesarlos, y realizar la operación dos veces más. Si la dispersión de pesos es grande pueden ser necesarias más mediciones.

Para conocer el peso total del tanque, el pescado se saca del agua y se pesa, ya sea con báscula o por el principio de Arquímedes en un contenedor calibrado. Estos métodos se están abandonando gracias a los equipos contadores de peces, son unas tuberías o canales que cuentan el número de peces que pasan por ellos gracias a detector o una cámara. Con ese dato y con un cálculo de peso medio, ya tenemos el peso del tanque. Estos contadores se suelen instalar a la salida de las clasificadoras, con lo que se evita molestar al pescado innecesariamente.

#### 7.4. Control del agua y equipos de medida

En toda granja de truchas existe una rutina de medición y registro de determinados parámetros ambientales. Estas mediciones pueden realizarse

para poder planificar la alimentación y la producción o para prevenir accidentes.

Los sensores de nivel de agua generalmente son la base del sistema de vigilancia de la granja. Son equipos muy sencillos: un flotador sujeto al canal o al tanque, si el nivel de agua baja el flotador baja también y tensa el cable al que está sujeto y dispara una alarma.

La medición del caudal suele realizarse en la entrada o en la salida de la instalación, periódicamente o en continuo. Si se mide la velocidad del agua en una sección de canal o tubería, el cálculo es sencillo. Estas mediciones pueden ser realizadas manualmente o con caudalímetros instalados en el canal.

Lo habitual es controlar la temperatura máxima y mínima diaria. Si esta puede variar a lo largo de la instalación, puede ser necesario tomarla en varios puntos. Con este parámetro podrá calcular la ración diaria.

El control de oxígeno disuelto también se realiza diariamente o en continuo. Se utilizan para ello sondas portátiles o fijas en los tanques. Estas sondas han de ser calibradas regularmente.

El pH, ya sea con tiras o pHímetro, suele medirse periódicamente.

Ya sea por medio de kits, o con sondas, también se pueden medir otros parámetros como amonio, nitratos o  $\text{CO}_2$ .

## 8. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DEL AGUA

### 8.1. Gases disueltos en el agua

El control de gases disueltos en el agua es una de las herramientas básicas para poder controlar el ambiente de cría. Es necesario conocer cuánta oxigenación (g de oxígeno/día) y reducción de  $\text{CO}_2$ /día es necesaria según el plan de alimentación, fase de cría y otros factores.

Los gases se transfieren a una solución como resultado de la diferencia entre la concentración de saturación y la concentración de la solución. Si el gas está por debajo de saturación se transfiere a la solución, si está supersaturado se transfiere fuera de la solución.

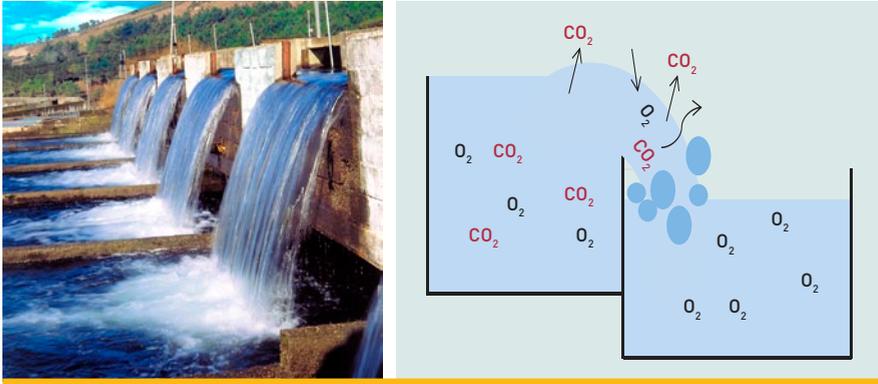


Ilustración 20. Esquema de transferencia de gases en solución.

## 8.2. Aireación y Oxigenación

Las necesidades de oxígeno durante el engorde se pueden calcular basándose en la alimentación: 350 g de oxígeno/kg pienso. Es decir, si alimentamos 120 toneladas de pescado al 1,2%, necesitaremos 21 kg/h. Este oxígeno puede proceder del agua de entrada o suministrarse al sistema.

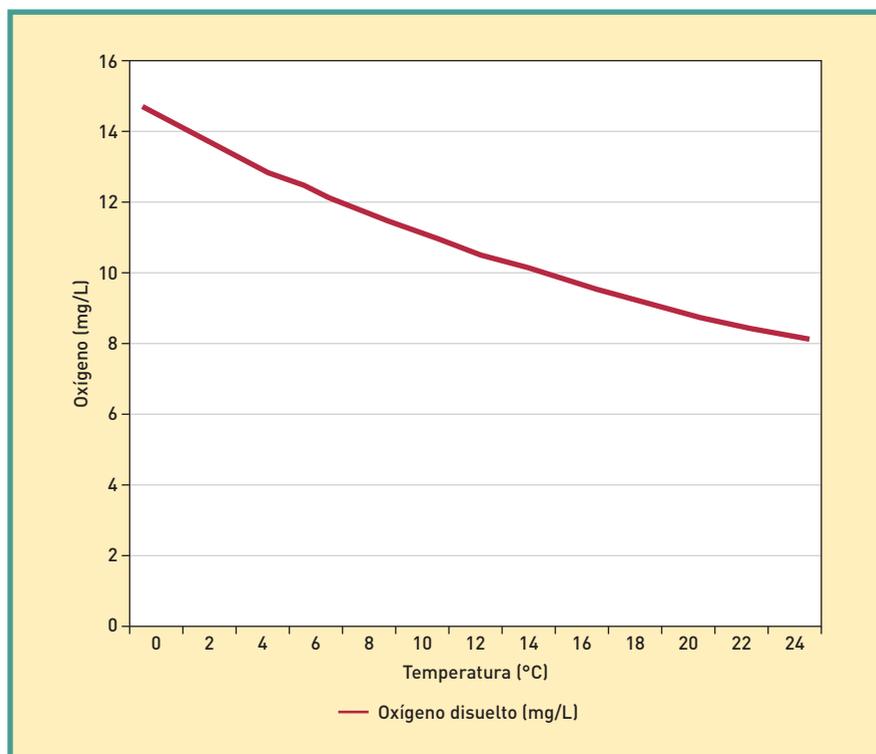
La cantidad máxima de oxígeno disuelto en el agua (saturación) depende principalmente de la temperatura. A mayor temperatura, menor cantidad de oxígeno disuelto, y viceversa.

Es decir, para oxigenar el mismo número de peces, en temperaturas frías se necesita menor cantidad de agua que en temperaturas cálidas.

Siguiendo con el ejemplo:

Temperatura	Oxígeno mg/L(según tablas de Colt, 1984, para salinidad 0 ppm, 760 mmHg)	Caudal para 21 kg O <sub>2</sub> /h
6 °C	12,436	469 L/s
12 °C	10,766	541 L/s
20 °C	9,077	642 L/s

## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS



Solubilidad de Oxígeno (mg/L) en función de la temperatura (°C) a salinidad 0 ppt y pr 760 mm Hg (Según tablas de Colt, 1984).

Por ello en los climas templados como el nuestro, es común en las granjas disponer de sistemas de bombeo de agua, que tras su aireación u oxigenación complementan el aporte natural de oxígeno de su captación.

Con la oxigenación la saturación puede llegar a alcanzar entre el 130 y el 140%, lo cual aumenta significativamente la cantidad de oxígeno disponible para los peces.

Dentro de los sistemas de aireación, la oxigenación por gravedad (cascadas) suele ser la primera elección. Si no disponemos de desnivel o necesitamos complementarlas, podemos recurrir a los aireadores mecánicos. Si necesitamos sobresaturar el agua de oxígeno, hemos de escoger ya aireadores de flujo, como conos o plataformas.

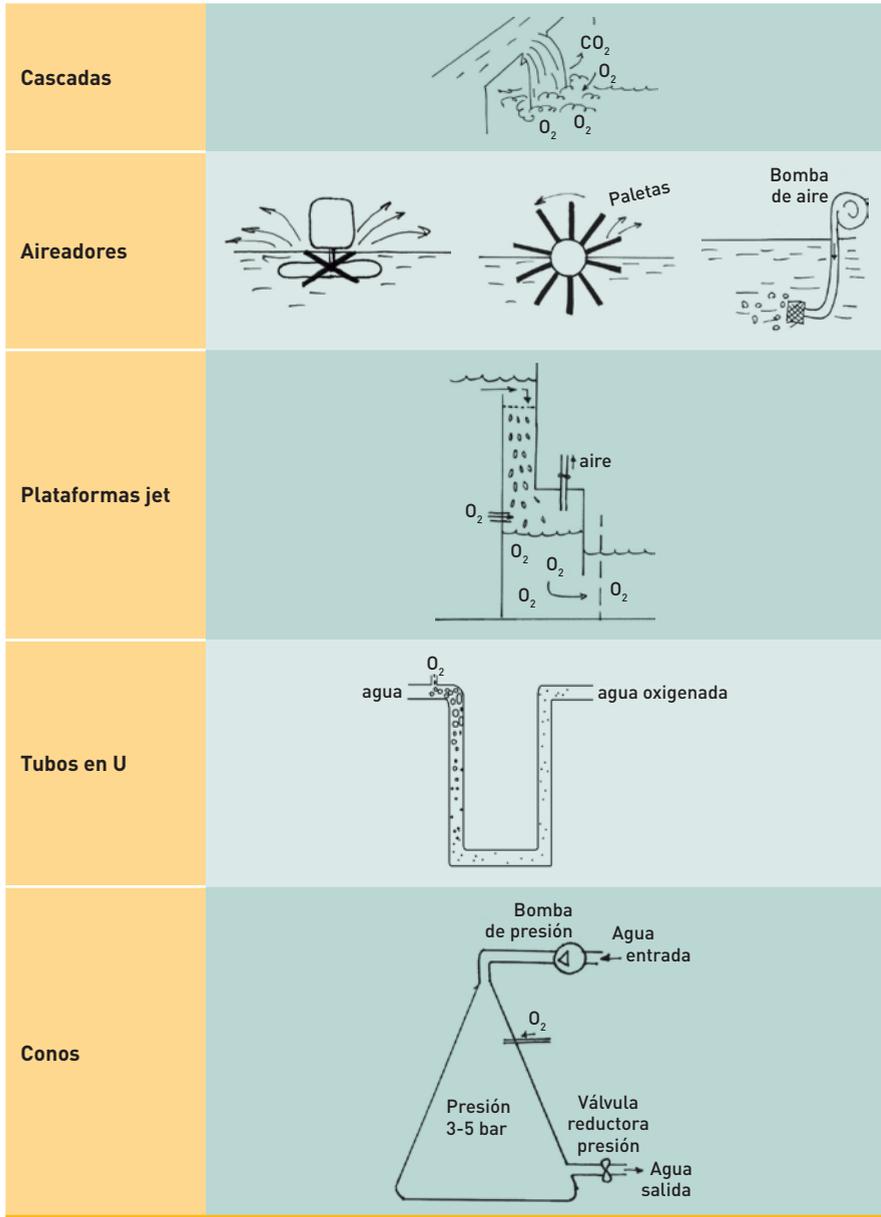


Tabla 6. Diferentes mecanismos de aireación. A partir de Mountounet (2007) y Lekang (2013).

	Oxigenación por gravedad Caída de agua de 50 a 80cm	Oxigenación por gravedad imposible
Oxigenación centralizada (global)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• plataformas jets</li> <li>• tubos en U</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin cemento: reactor con retorno del agua al canal Inversión ↓ kwh ↑</li> <li>• En cemento. plataforma o tubo en U por bombeo Inversión ↑ kwh ↓</li> </ul>
Oxigenación localizada (por piscina)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• plataforma de fibra de vidrio o inox+enterramiento eventual para aumentar rendimiento de disolución</li> <li>• plataforma incorporada en la construcción de la piscina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactor con red de difusión de agua sobreoxigenada.</li> <li>• Pequeño reactor por piscina</li> <li>• Plataforma monitorizada</li> </ul>

Tabla 7. Determinación del dispositivo de oxigenación más adecuado. (Mountounet, 2007).

### 8.3. Eliminación de CO<sub>2</sub>

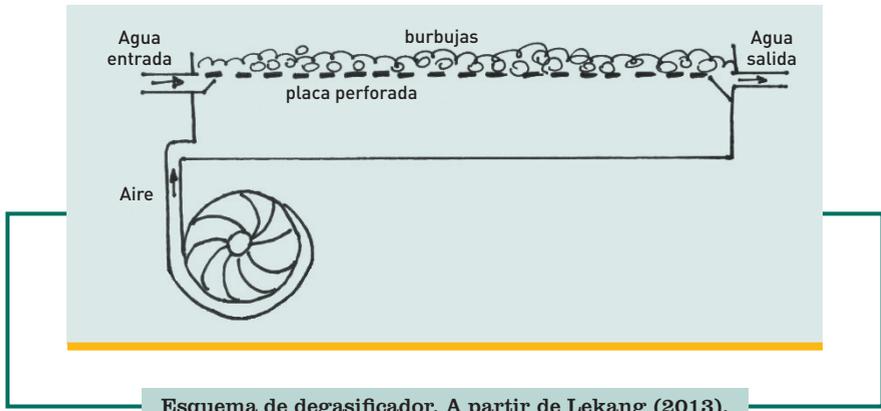
La concentración de CO<sub>2</sub> depende de la alcalinidad, de la cantidad de carbono orgánico total, del pH, temperatura y salinidad.

Es necesario controlarlo en sistemas de recirculación, para lo que existen dos métodos, la desgasificación, o la adición de bases.

El mecanismo será igual que para la aireación, muchos de los sistemas que acabamos de ver ya realizan una desgasificación de CO<sub>2</sub> a la vez que añaden oxígeno disuelto. En los sistemas en los que el objetivo es la adición de oxígeno, la proporción de caudal de Gas/ caudal de Agua es baja, en los de desgasificación el caudal de gas ha de ser mayor que el de agua.

### 8.4. Eliminación de sólidos

La materia orgánica (las deyecciones de los peces) consumirán oxígeno y liberarán compuestos nitrogenados al agua, así que cuanto antes las eliminemos del tanque, antes de que tengan tiempo de fragmentarse en partículas pequeñas y disolverse, mejor para la calidad del agua de la instalación y para la calidad del efluente.



Para ello las granjas suelen disponer de filtros mecánicos o de sistemas de decantación.

Según el tamaño de la partícula a eliminar y su velocidad de decantación, se escoge un sistema u otro. Los sólidos de gran tamaño se eliminan mejor con sedimentación, los más pequeños con filtros mecánicos.

Los sistemas de sedimentación disminuyen la velocidad del agua en un área hasta que las partículas que queremos eliminar quedan asentadas en el fondo. Estas áreas pueden ser tanques, estanques o canales. Pueden incluir barreras o cambios de dirección para reducir la energía de los sólidos y favorecer que los residuos se acumulen en puntos específicos.

Tradicionalmente se utilizan **tanques de decantación** rectangulares, donde al aumentar el área del tanque se disminuye la velocidad del agua a unos 1-3 cm/s.

Pero también existen otros sistemas que no necesitan tanto espacio, como los hidrociclones y sedimentadores cónicos.

Los **hidrociclones** utilizan la fuerza centrífuga para separar los sólidos. Son eficaces para sólidos de alta densidad, como arena o lodo, pero son difíciles de utilizar con grandes flujos o sólidos que tienen una gravedad específica cercana a la del agua, tales como heces de peces. La turbulencia asociada al aumento de velocidad del agua también contribuye a la degradación de las heces.

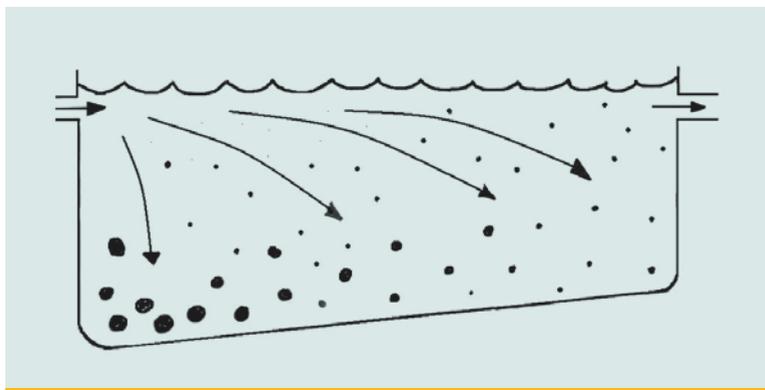


Ilustración 21. Esquema de balsa de decantación.  
A partir de Lekang (2013).

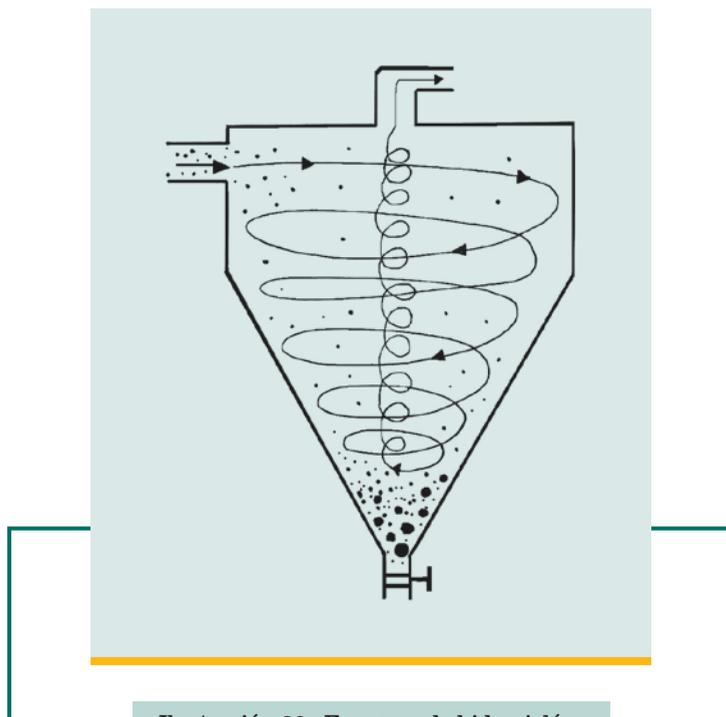


Ilustración 22. Esquema de hidrociclón.  
A partir de Lekang (2013).

Por ello ante la falta de espacio suelen escogerse los **sedimentadores cónicos**, que no aumentan la velocidad del agua.



Ilustración 23. Sedimentador.  
Grupo Tres Mares S.A.  
Fotografía de la autora.

Como lo mejor es retirar los sólidos en cuanto se generen, el primer lugar donde hay que empezar a retirarlos es el propio estanque. Para ello se están generalizando los **tanques de doble drenaje**. Tienen conos localizados entre los peces y la salida, donde se proporciona una zona de velocidad reducida para el depósito de sólidos. Estos conos tienen una llave para la retirada periódica de los sedimentos.

Los **filtros mecánicos** eliminan los sólidos del agua mediante barreras físicas a través de las cuales las partículas sólidas no pueden pasar. Esto se consigue normalmente con un medio secuestrante, por ejemplo arena, o con una malla. Pueden necesitar para trabajar presión de bombeo para su funcionamiento, o trabajar por gravedad.

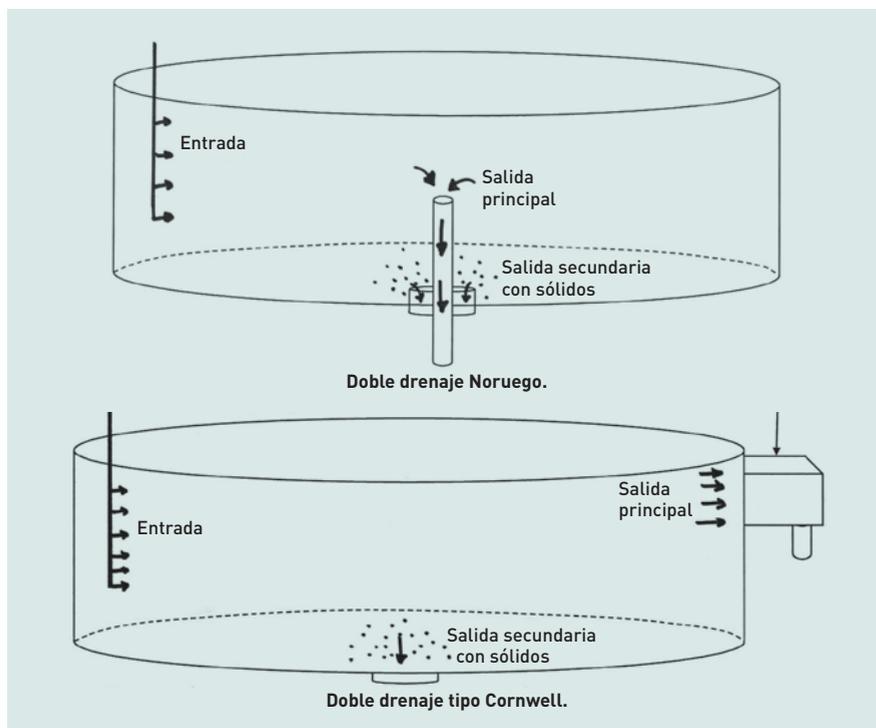


Tabla 8. Esquema del funcionamiento de tanques de doble drenaje. A partir de Piedrahita (2012).

Con respecto a aquellos que trabajan sin presión, los **filtros de tambor** son los más eficientes y más utilizados para la acuicultura. El agua pasa axialmente en un tambor de acero inoxidable, la pared interior de la cual está hecha de plástico o de malla de metal a través del cual el agua pasa por gravedad, dejando las partículas de sólidos en suspensión atrapado en el interior de la malla.

En caso de necesitar un filtro de presión para alcanzar un mayor grado de limpieza, por ejemplo en una hatchery, se suele recurrir a los **filtros de arena**. Los más grandes disponibles son de 3 m de diámetro y 3 m de altura. Estos pueden filtrar hasta 50 l/s con una filtración a 50 mm y un flujo de entrada que contenga <math><10\text{ mg / l}</math> de sólidos suspendidos. Estos filtros pueden lavarse a contracorriente automática o manualmente.



Ilustración 24. Filtro quitahojas cónico seguido de filtro de tambor. Piscifactoría ¿?? Lugo. Fotografía de la autora.

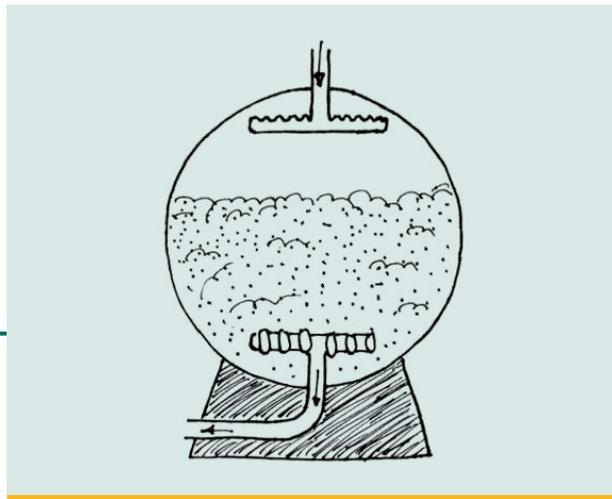


Ilustración 25. Esquema de Filtro de arena. A partir de Lekang (2013).

### 8.5. Eliminación de compuestos nitrogenados

Para eliminar los compuestos nitrogenados del agua pueden utilizarse dos estrategias: su oxidación bacteriana, en la que el residuo se transforma en gas, y su incorporación como nutriente de plantas, en la que el residuo se transforma en biomasa vegetal.

#### 8.5.1. Filtros Biológicos

La retirada de nitrógeno amoniacal en un filtro biológico bacteriano se realiza por un proceso llamado nitrificación, que consiste en la sucesiva oxidación del amoníaco primero a nitrito y finalmente a nitrato.

El biofiltro ideal sería el que permitiese remover el 100% del amoníaco de la alimentación, no producir nitrito, requerir de poca superficie, usar un medio de soporte barato, no requerir presión de agua ni mantenimiento para operar, y no capturar sólidos. Desgraciadamente, no hay un biofiltro que cumpla con todos estos requisitos, cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas y áreas de mejor aplicación.

Los biofiltros consisten en un lecho de soporte donde se desarrollan las bacterias nitrificantes, a través de los cuales ha de pasar el agua a tratar. Estas bacterias van a consumir oxígeno y producir sólidos. Existen varios tipos, pero los que generalmente se utilizan en acuicultura son los de lecho móvil o los percoladores.

Como material de soporte puede utilizarse casi cualquier cosa, los hay específicamente diseñados para esta función, pero a veces se utilizan huesos de frutos, conchas, plásticos, grava, etc. Su eficacia se mide por superficie disponible en unidad de volumen ( $m^2/m^3$ ).

En el **biofiltro de lecho móvil o dinámico**, se usa un medio de soporte consistente en pequeñas formas de polietileno flotantes (7mm de largo y 10mm de diámetro), en una cama sumergida extremadamente bien aireada (Rusten *et al.*, 1998). El medio tubular tiene aletas internas y externas para aumentar la superficie, y una sección interior dividida para proteger las bacterias. La intensa aireación mantiene el lecho en permanente movimiento y minimiza los problemas de oxigenación y acumulación de sólidos.

En los **biofiltros percoladores** el agua residual fluye hacia abajo sobre el medio y mantiene la película bacteriana mojada, pero nunca completamente sumergida (Wheaton *et al.* 1991). Ya que los espacios vacíos son rellenos con aire en lugar de agua, a las bacterias nunca les falta oxígeno. Los filtros percoladores son muy efectivos para desgasificar dióxido de carbono.

### 8.5.2. humedales artificiales

Aún no se conoce bien su funcionamiento, pero lo cierto es que son muy eficaces para eliminar sólidos y compuestos nitrogenados del agua.

Los componentes básicos de un humedal artificial son:

- un hueco sencillo en el suelo o construcción generalmente rectangular, y a veces lineal.
- un lecho mineral, que sirva de sustrato para las poblaciones microbianas activas
- una capa superficial de tierra vegetal.

La superficie se siembra o se deja colonizar de forma natural con plantas tolerantes al agua.

El agua cargada de nitrógeno se introduce para que discurra a lo largo del hueco/estructura y salga a través de un punto de vertido controlado.

El diseño debe permitir la regulación activa del caudal de entrada y salida.

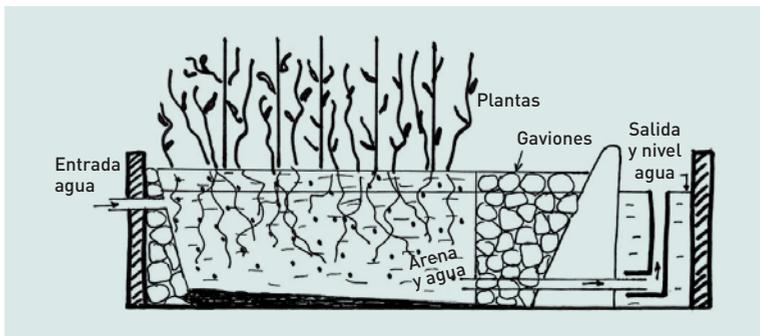
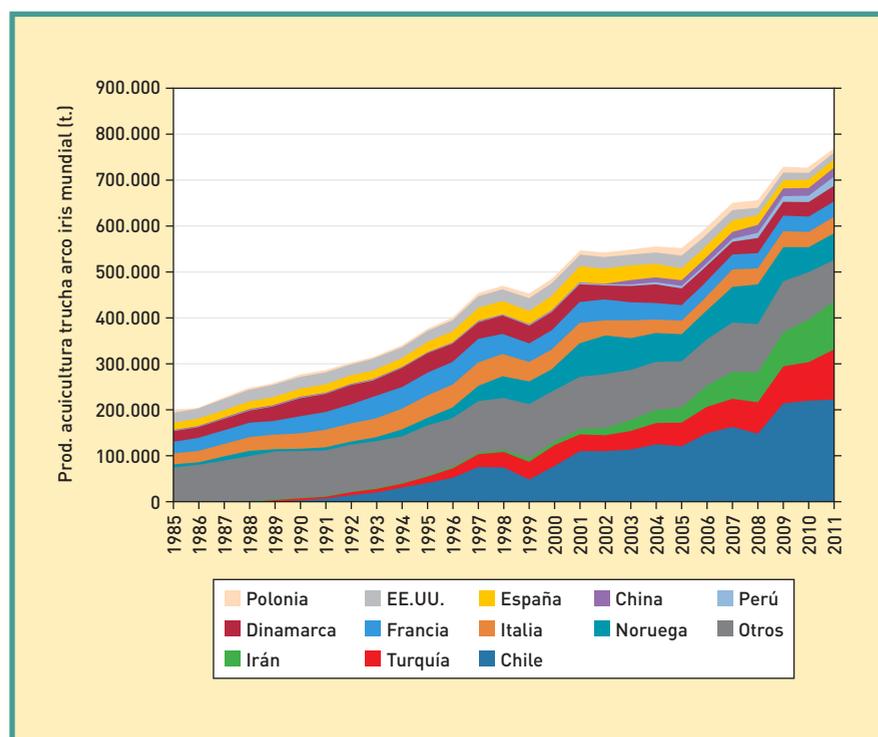


Ilustración 26. Esquema de Humedal Artificial.  
A partir de ilustraciones Aquatreat.

## 9. COMERCIALIZACIÓN

### 9.1. La Producción en el mundo

La producción acuícola mundial de trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en 2011 ha sido de 770.385 toneladas, según estadísticas de FAO, lo que supone un aumento de un 5.7% con respecto al 2010. Su producción sigue una tendencia creciente desde 1950.



**Tabla 9. Evolución de la producción de acuicultura de trucha arco iris en el mundo en el periodo 1985-2011 (sobre datos FAO).**

Se cría hasta en 73 países, pero Chile, Irán, Turquía y Noruega acaparan en la actualidad más de la mitad de la producción mundial. España es el décimo productor, por detrás de Italia, Francia, Dinamarca, Perú y China.

En cuanto al sistema productivo, aunque prevalece el cultivo en agua dulce, un 36% de la producción se realiza en agua salada. Esto es lo habitual en Chile, Noruega o Dinamarca, países donde el producto predominante es la trucha de gran tamaño.

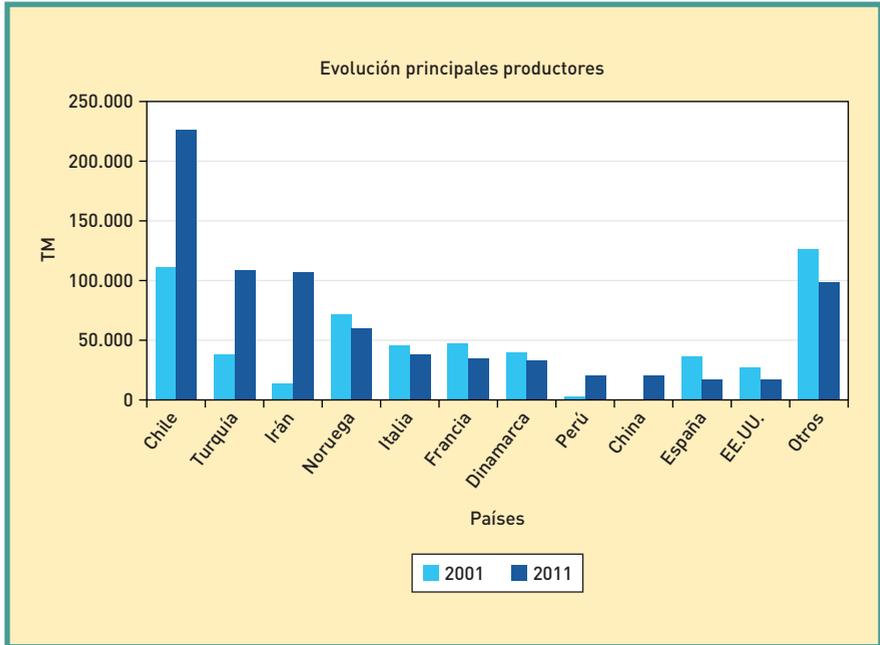


Tabla 10. Principales países productores de trucha arco iris (datos FAO, 2013).

### 9.2. La producción en europa

En 2011 la producción de los países de la UE se estimó en 176.983 toneladas (FAO, *FishStatj*, 2013), con un valor de 706.144.910 dólares. La trucha arco iris es la especie piscícola más cultivada en la Unión Europea, seguida por el salmón del atlántico, la dorada, lubina y carpa.

La trucha arco iris se comercializa en una gran variedad de productos, pero podemos agruparlos en dos grandes bloques: la trucha ración (de unos 250 a 400g) y trucha grande (de más de 1 kg).

## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS

La tendencia en Europa es de crecimiento en la trucha ración, principalmente por la influencia de Turquía. Pero al desglosar por regiones se observa una clara disminución de la producción de trucha ración en la UE, y un notable incremento en Turquía.

Con respecto a la trucha grande, la tendencia es decreciente. Islas Faroe y Noruega han disminuido sus producciones de trucha grande para criar en su lugar bacalao o salmón atlántico, mientras que países como Francia, Dinamarca o Suecia apuestan claramente por la producción de arco iris grande, con incrementos de un 20-50%.

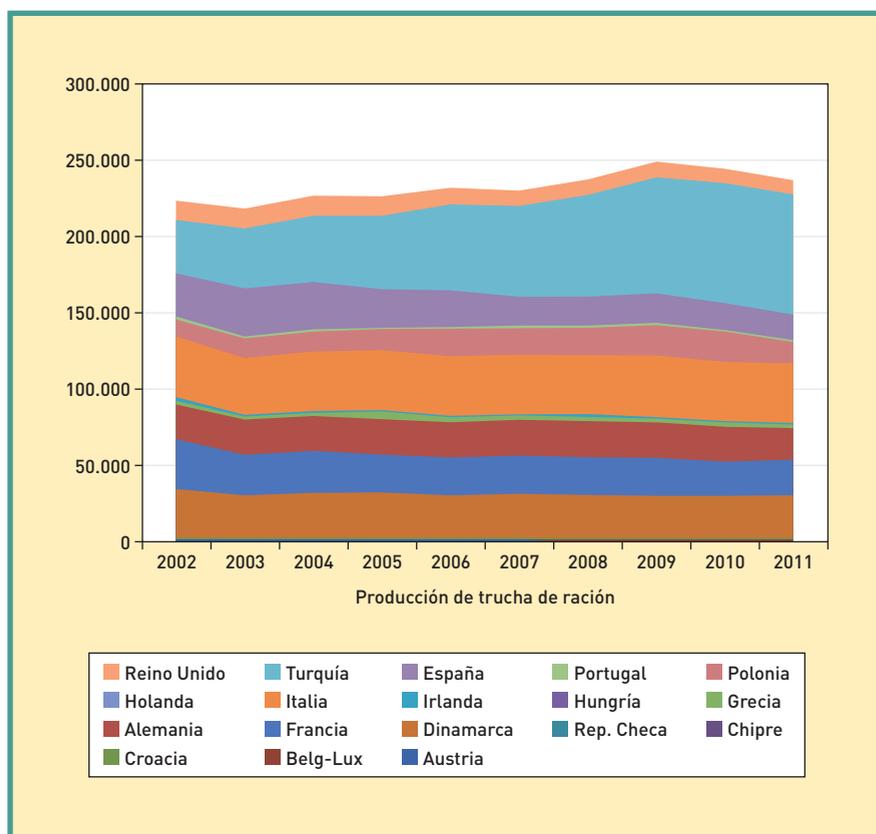
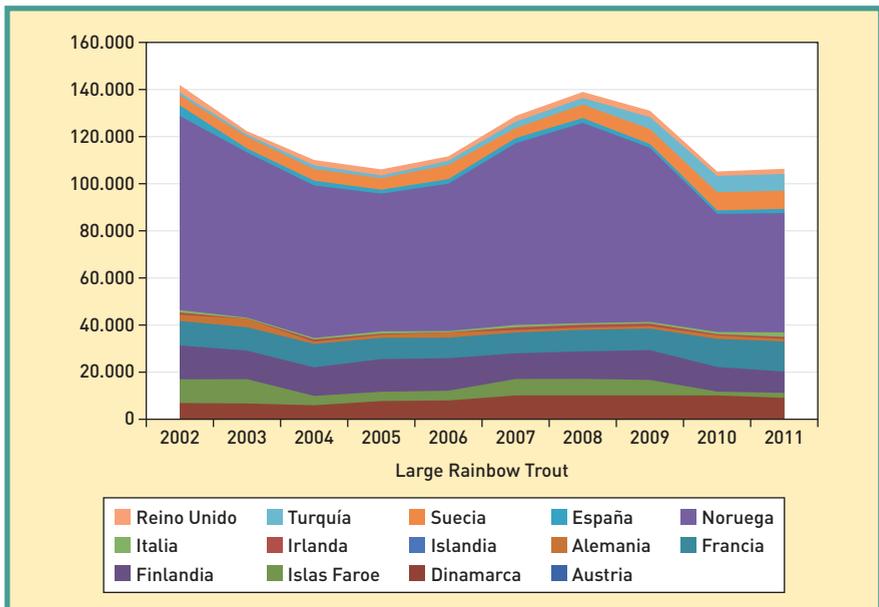


Tabla 11. Evolución de la producción (toneladas) de trucha arco iris ración. Datos FEAP.

## LUZ ARREGUI MARAVER

Producción (Tm) Producto	País	Año									
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Trucha arco iris ración	Austria	1.738	1.594	1.637	1.728	1.671	1.671	1.200	1.250	1.200	1.200
	Belg-Lux	400	400	400	400	400	400	400	200	200	200
	Croacia	913	791	800	800	800	800	800	2.000	2.095	2.358
	Chipre	180	90	91	70	84	85	100	68	68	70
	Rep. Checa	656	650	564	597	600	623	614	526	476	580
	Dinamarca	31.000	27.000	29.000	29.247	27.028	28.527	28.050	26.374	26.538	26.538
	Francia	32.500	27.000	27.500	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	22.000	23.500
	Alemania	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	20.000
	Grecia	2.271	1.870	2.060	4.892	3.187	2.820	3.420	2.588	2.588	2.500
	Hungría	29	25	25	25	25	42	42	40	48	56
	Irlanda	2.000	1.000	1.000	1.100	1.100	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	Italia	40.300	37.400	39.000	39.000	39.000	39.000	38.900	40.500	39.000	39.000
	Holanda	200	200	50	50	50	50	50	50	50	50
	Polonia	1.000	13.000	13.500	14.000	18.500	17.500	18.000	20.000	20.000	14.000
	Portugal	1.233	954	916	845	943	937	941	936	951	900
	España	29.000	31.500	31.500	25.000	24.000	20.000	20.000	20.000	18.000	18.000
	Turquía	35.250	39.674	43.432	48.033	56.026	58.433	65.928	75.657	78.165	78.165
Reino Unido	12.200	12.200	12.200	12.500	11.000	9.955	10.000	10.000	8.950	8.900	
<b>Total ración</b>		<b>223.870</b>	<b>218.348</b>	<b>226.675</b>	<b>226.287</b>	<b>232.414</b>	<b>29.843</b>	<b>237.445</b>	<b>249.119</b>	<b>244.329</b>	<b>237.107</b>



**Tabla 12. Evolución de la producción (toneladas) de trucha arco iris grande. Datos FEAP.**

## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS

Producción (Tm) Producto	País	Año									
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Trucha arco iris grande	Austria	188	217	200	200	200	200	200	200	200	200
	Dinamarca	6.500	6.500	5.500	7.750	7.523	9.867	10.046	10.139	9.832	9.000
	Islas Faroe	10.000	10.220	3.918	3.977	4.122	6.883	6.706	6.400	1.790	2.000
	Finlandia	14.894	12.201	12.335	13.693	14.000	11.000	12.000	12.700	10.400	9.220
	Francia	10.400	10.000	10.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	12.000	12.500
	Alemania	2.500	2.500	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.200
	Islandia	248	180	142	50	9	10	0	24	48	200
	Irlanda	700	350	350	550	500	1.000	1.000	1.000	434	434
	Italia	600	600	600	600	600	600	500	600	1.000	2.000
	Noruega	83.000	71.000	65.000	58.875	62.703	77.465	85.266	74.072	50.000	51.000
	España	4.500	1.500	2.250	1.500	2.000	2.000	2.000	1.500	1.500	1.500
	Suecia	4.183	4.886	4.851	4.968	6.116	4.366	5.789	6.413	7.854	7.800
	Turquía	1.240	1.194	1.650	1.249	1.633	2.740	2.721	5.229	7.079	7.000
Reino Unido	3.000	1.000	2.000	2.000	1.500	2.341	2.390	2.400	1.690	2.000	
<b>Total Grande</b>		<b>141.953</b>	<b>122.348</b>	<b>110.046</b>	<b>105.662</b>	<b>111.156</b>	<b>128.722</b>	<b>138.868</b>	<b>130.927</b>	<b>105.077</b>	<b>106.054</b>

Tal y como declara la FEAP<sup>8</sup>, el desafío clave de la acuicultura europea es alcanzar el desarrollo sostenible. Y para ello es necesario ser rentables. La rentabilidad es sólo posible si podemos ser competitivos con las importaciones de terceros países, que ahora suponen más del 65 % de nuestro suministro de pescado y marisco. Sin embargo, la legislación europea, condiciones de producción, prácticas comerciales y actitudes de consumidor estrangulan el crecimiento potencial de acuicultura. Los productos importados no siempre ofrecen los mismos niveles de garantías técnicas y sociales, por lo que es necesario transponer nuestras estrictas regulaciones europeas sobre aquellos países de los cuales importamos.

### 9.3. Producción de trucha en España

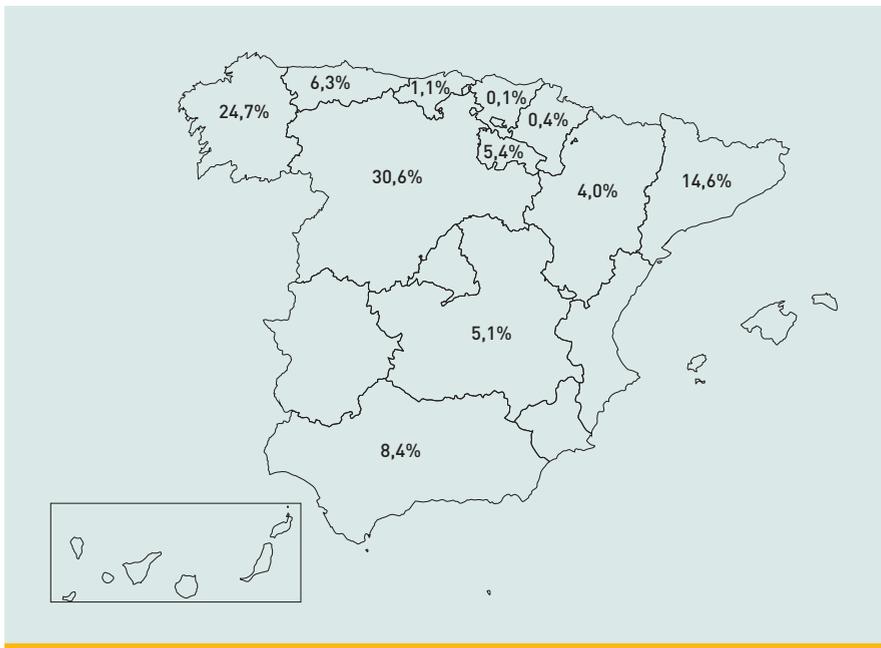
La trucha arco iris en España se comercializa en múltiples presentaciones y tamaños: entera, eviscerada, filetes, filetes mariposa, ahumados, o diversos preparados.

Durante décadas la trucha ha sido la especie piscícola más cultivada en España, llegando a su máxima producción en el año 2001 con un total de 35.384 toneladas, de las cuales una buena parte se dedicaba a exporta-

<sup>8</sup> Federación de Productores de Acuicultura Europeos. Level playing field.

ción dentro de Europa. Desde entonces su cultivo se ha ido reduciendo drásticamente, hasta llegar a las: aprox. 18.000 toneladas en el año 2012, lo que supone una reducción de un casi un 50%.

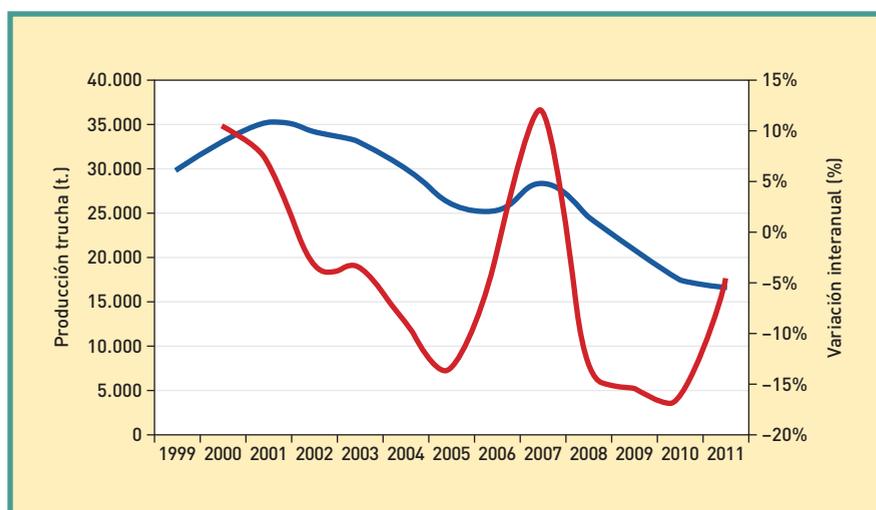
En 2011, Castilla y León, Cataluña y Galicia encabezaron la cría de trucha arco iris en España, repartiéndose el 70% de la producción, con porcentajes del 30,6%, 24,7% y 14,0% respectivamente, seguidas por Andalucía, Asturias, La Rioja, Castilla la Mancha y Aragón, y a mayor distancia por Navarra, País Vasco y Comunidad Valenciana.



**Ilustración 27. Distribución porcentual de las producciones de trucha en España por CC.AA. en 2011.**

Las causas de esta caída de producción son múltiples y conocidas por todos. Las granjas han sufrido una pérdida de rentabilidad constante y sostenida durante varios años, causada en parte por la competencia desleal con países terceros, pero también por causas intrínsecas como cánones exorbitados en determinadas regiones, un marco administrativo mejo-

rable, y cambios en los hábitos de consumo y comercialización. La producción eficiente en costes se ha convertido en un prerrequisito para seguir trabajando, pero este sigue siendo un negocio de alto riesgo. El gran desafío para el productor ahora y en el futuro será el márketing y la comercialización, para lo que será clave innovar en el formato de comercialización y desarrollar nuevas fórmulas que influyan positivamente en la percepción del producto por parte del comprador. Si somos capaces de detectar los nichos específicos de mercado, la diferenciación del producto nos llevará a la optimización del precio.



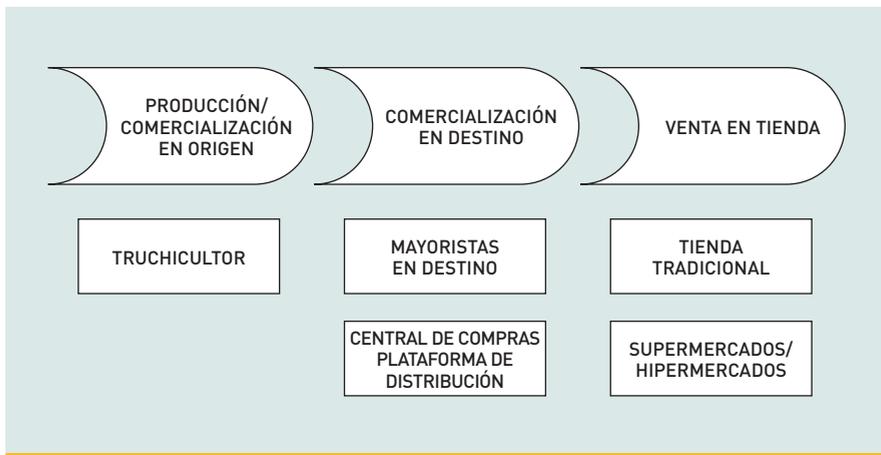
**Tabla 13. Evolución de la producción acuícola de trucha (*Onchorhynchus mykiss*) en España (1999-2011). Se muestra la tasa de variación interanual.**

### 9.4. Calidad

El sector ha apostado por la especialización y diferenciación del producto como base para mantener su mercado. Desde hace más de una década muchas empresas optaron certificarse en uno o varios estándares de calidad, como IFS (Internacional Food Standard), BRC (British Retail Consortium), Global Gap o Naturland.



Filetes y rodajas de trucha asalmonada.



Estructura de la cadena de valor. Estudio de la cadena de valor y formación de precios de la trucha arco iris de acuicultura. Observatorio de precios de los alimentos MARM.

En 2006, se publicó la primera Norma de Calidad de producción de Trucha (UNE 173001 Acuicultura Procesos productivos de Trucha). Establece requisitos y recomendaciones para la cría mediante procesos de acuicultura de la trucha arco iris, así como para su sacrificio; con especial atención a la trazabilidad de todo el proceso. Estaban explícitamente excluidas de la norma las truchas comercializadas enteras sin eviscerar, presentación frecuente en las pequeñas granjas.

En el 2007 se aprobó la Norma UNE 173002. Acuicultura. Procesos productivos. Producción ecológica de trucha. Esta Norma habla de produc-

ciones de tres especies: *Oncorhynchus mykiss*, *Salmo trutta fario* y *Salvelinus fontinalis* en determinadas condiciones, como baja densidad de cría, así como alimentación con piensos de origen ecológico, lo que la convierte en una norma adecuada para pequeñas granjas que busquen una diferenciación comercial.

## 10. PATOLOGÍA

Una gran proporción de enfermedades en las piscifactorías son el resultado directo o indirecto de un mal manejo. Una correcta gestión sanitaria es imprescindible para mantener la rentabilidad de las empresas. Para prevenir la aparición de determinadas enfermedades existen diversas herramientas legislativas, como la declaración de zona libre.

Asturias fue declarada zona libre de SHV y NHI en 1998 según la Decisión de la Comisión 98/361/CE, por la que se establecían la lista de zonas españolas autorizadas con relación a la SHV y NHI.

Galicia, Aragón y Navarra se acogieron a la Directiva 95/22, que permitía declararse Zona Libre por razones históricas. Las tres fueron declaradas Zonas Libres de SHV y NHI por la Decisión de la Comisión 99/513/CE.

En Aragón, en esos mismos años, se implanto la primera Agrupación de Defensa Sanitaria en Acuicultura de España, para la Acuicultura de Aragón y la Rioja, a la que siguieron las ADS de Asturias y Galicia.

### Enfermedades de la superficie corporal

#### Hongos

##### Saprolegniosis (*Saprolegnia diclinoparasítica* tipo I)

Afecta a muchas especies de trucha y salmón de agua dulce.

Generalmente se considera un patógeno secundario, atraído por lesiones en branquias o piel. Son especialmente sensibles los reproductores durante los cambios hormonales de la fase de maduración o de freza. El riesgo de infección aumenta en períodos de frío prolongados (4-6 °C), porque con estas temperaturas la movilidad de las zoosporas es máxima. La

- saprolegnia puede ser letal aunque sea secundaria, por lo que conviene
- tratarla con los desinfectantes habituales.

## **Parásitos**

### **Costiasis (*Ichtyobodo necatrix*)**

- Causada por un protozoo flagelado. Afecta a los alevines tanto en épocas
- frías como cálidas, y puede provocar mortalidades importantes si no se
- detecta a tiempo. Coloniza piel y branquias En infecciones graves la piel se
- vuelve azul o gris por engrosamiento de la cutícula y el edema superficial
- que provocan. En branquias provoca congestión y un gran aumento de la
- mucosidad. El diagnóstico se realiza por raspado en fresco de piel y bran-
- quias. El parásito es pequeño (8 micras) con forma de pera, flagelado y
- bastante activo. Parece que «husmea» en el material del raspado y luego
- se aleja nadando en espirales. Se trata fácilmente con baños desinfectan-
- tes y aumento de caudal de agua. Es importante eliminar los peces muer-
- tos ya que puede sobrevivir en ellos varios días...

### **Trichodina, Trichodinella Chilodonella**

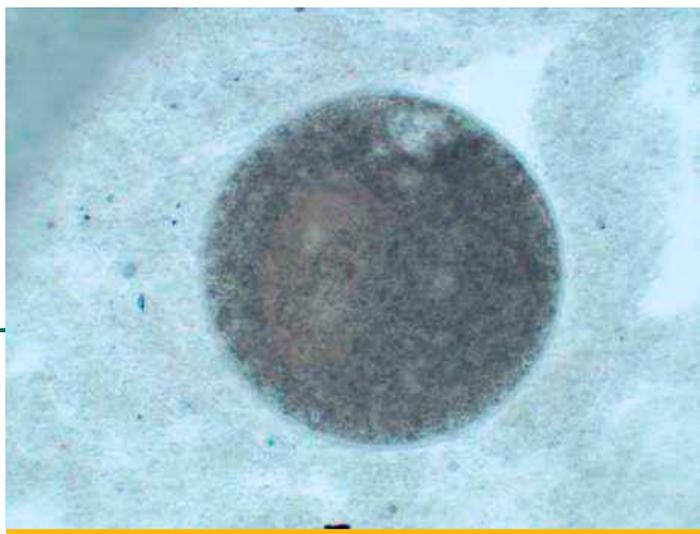
- Son bastante más grandes que la costia (unas 70 micras) y se mueven len-
- tamente. Los tres tienen numerosos cilios. Hospedan la piel y las bran-
- quias de alevines y peces de mayor tamaño. Las lesiones pueden ser simi-
- lares a las de la costiasis. Cuando la infección es grave pueden desarrollar
- úlceras cutáneas y necrosis de aletas. Se identifican fácilmente en un ras-
- pado en fresco de piel ya que son relativamente grandes y de forma carac-
- terística.

### **Enfermedad del Punto Blanco (*Ichthiophthirius multiphilis*)**

- Hospeda la piel y branquias. Tiene un ciclo de vida complejo que implica
- reproducción en el hospedador y en el medio acuático. La fase adulta o
- trofozoíto (el punto blanco que se ve en piel) se enquistó en la epidermis
- del pez. El adulto cuando emerge del pez es grande (1 mm) ciliado, ma-
- rrón, con núcleo en forma de herradura. Este abandona el pez y se fija al
- fondo o a cualquier sustrato en fase de cisto, donde forma múltiples tomi-

## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS

tos (unos 500), que se liberan del cisto y reinfectan a los peces. Estos son parásitos pequeños (0,2 mm), de color claro y se mueven rápidamente. Crecerán lesionando el epitelio hasta formar el adulto. La temperatura tiene una gran influencia en la velocidad de multiplicación del parásito.



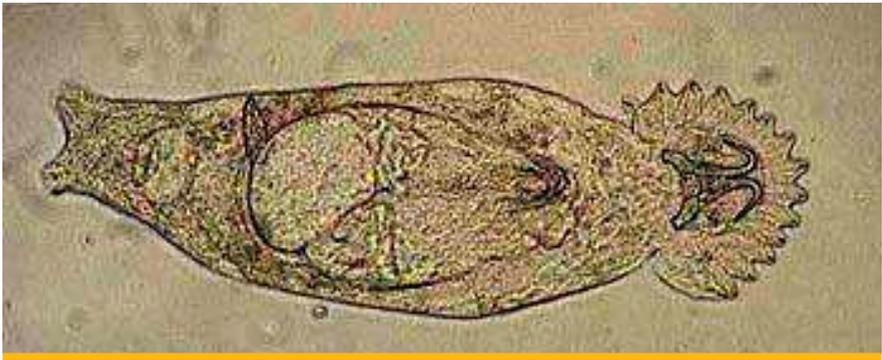
**Punto Blanco (*Ichthyophthirius multifiliis*).**  
Foto de Isabel Marquez.

A 5 °C el ciclo se completa en 9 días, mientras que a 25 °C ese tiempo se reduce a 18 horas. Lo normal es que la infección se encuentre latente en invierno y en verano se produzcan brotes clínicos. Se diagnostica por raspado en fresco de piel o branquias a pocos aumentos.

El tratamiento es complicado debido a su ciclo de vida. Los trofozoítos enquistados son resistentes al tratamiento, que solo puede actuar contra los cistos y los tomitos liberados. A temperaturas bajas, los quistes permanecen mucho tiempo en el pez sin que nada pueda hacerse. Por eso un tratamiento aislado o varios muy seguidos no serán efectivos porque aparecerán nuevos trofozoítos. Conviene realizar baños uno o varios días a la semana durante varias semanas para obtener resultados. Si sobreviven a la infección las truchas suelen inmunizarse, aunque la recuperación es lenta.

### **Gyrodactilosis (Gyrodactylus spp)**

Es el más importante de la clase Monogenea (un solo hospedador en su ciclo de vida). Tienen un órgano de fijación con unos ganchos característicos con los que se agarran mientras que se alimentan del epitelio del hospedador. Lesionan branquias, piel y aletas, a veces también los ojos. Diagnóstico por raspado en fresco de piel y branquias. Son alargados y se ve bien el gancho. Tratamiento por baños.



**Gyrodactylus spp. Foto de Isabel Márquez.**

Se han descrito hasta 400 especies de **Gyrodactylus** que hospedan multitud de especies de peces y con diferentes grados de patogenicidad. Se controla con antiparasitarios más fácilmente que el punto blanco.

Entre todas las especies descritas el *G. salaris* es el más relevante por su patogenicidad. Provoca grandes mortalidades en poblaciones de salmón atlántico en Noruega, tanto en piscifactorías como en entornos naturales (Johnsen y Jensen, 1991; OIE, 2000).

Se ha comprobado que aunque el hospedador primario del *G. salaris* es el salmón atlántico, este parasito se puede reproducir en muchas otras especies de salmónidos, entre ellos la trucha arco iris.

### **Infecciones internas**

Existe una gran variedad de patógenos que afectan a los órganos internos. Pueden ser bacterianos, víricos, parasitarios o fúngicos. Los síntomas de

enfermedad no suelen ser determinantes en la identificación, por lo que se suele realizar cultivo, histología o visualización directa de determinados órganos. Generalmente hay que cultivar el hígado, riñón, bazo y meninges.

### **Toma de muestras**

Hay que consultar al laboratorio para el correcto envío de muestras, ya sean estas de pez completo o de diferentes órganos, ya que cada técnica de diagnóstico requiere una conservación de muestras diferente. Ante la duda es mejor enviar peces enfermos, pero vivos, en bolsas con oxígeno agua y hielo. Conviene advertir al laboratorio de su llegada y adjuntar una ficha con el nombre de la granja, la sospecha o el problema, la fecha de recogida de muestras... Demasiadas veces llegan a los laboratorios muestras que no son procesadas por falta de aviso al analista.

### **Virus**

Son afortunadamente pocos los que pueden afectar al cultivo de truchas en España.

No tienen tratamiento, La respuesta inmune del pez depende de la temperatura del agua, por lo que entre otros factores dependerá de la temperatura su supervivencia.

### **Virus de Necrosis Hematopoyética Infecciosa IHN (Rabdovirus, RNA)**

Es endémica de la costa oeste de EEUU. Afecta alevines jóvenes donde provoca altas mortalidades, los adultos pueden ser portadores. Es más frecuente con temperaturas bajas en primavera. Los síntomas clínicos son inespecíficos, pero incluyen exoftalmia, congestión de aletas, y heces colgantes. La necrosis de los tejidos hematopoyéticos es un signo claro, que se confirma gracias al aislamiento del virus.

En muchos aspectos es similar a IHN, provoca graves pérdidas económicas en Europa, y la infección no se restringe solo a los alevines. Clínica y patológicamente es similar al IHN. Se asocia a condiciones de mala calidad de agua, alta densidad y estrés. Afecta principalmente a sal-

- mones de 200-300g en los que provoca un cuadro agudo. La transmisión es
- horizontal a través del agua, por contacto con peces infectados. La trans-
- misión vertical no ha sido demostrada, pero los huevos pueden estar infec-
- tados en la superficie La prueba oficial es el cultivo y aislamiento.



Ilustración 28. Número y localización de brotes clínicos de IHN demostrados en UE, 2011 y 2012 (A partir deWAHIS).

**Septicemia Hemorrágica Viral VHS-(Rabdovirus, RNA)**

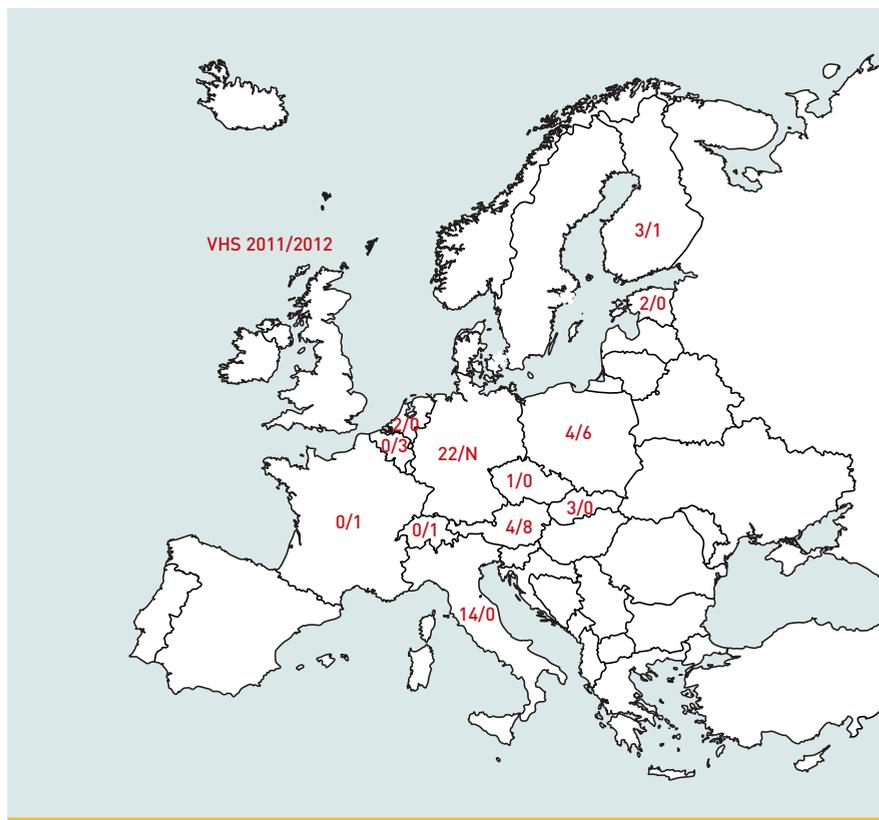


Ilustración 29. Número y localización de brotes clínicos de VHS demostrados en UE, 2011 y 2012 (A partir deWAHIS).

**IPN = Infección Necrótica del Páncreas (Birnavirus, RNA)**

Un virus muy común en la fase de primera alimentación en los alevines del Norte de América y Europa. Existen muchos serotipos –con virulencia variable. La sintomatología clínica incluye oscurecimiento, natación en espirales, exoftalmia, ascitis (externamente los alevines parece que se han tragado un grano de arroz) y heces colgantes. El virus afecta al páncreas, necrotizándolo. El aislamiento confirma el diagnóstico.

## Bacterias

### Síndrome del alevín de la trucha-Enfermedad del agua fría de los salmónidos (*Flavobacterium psychrophilum*)

Se ha descrito en todos los continentes donde se cultiva trucha. Afecta a alevines de muchas especies y ataca generalmente entre los 4 y 12 °C. Provoca brotes recurrentes en otoño e invierno, ocasionando elevada mortalidad (hasta del 50%) y grandes pérdidas económicas. Los síntomas varían mucho dependiendo del tamaño de los peces, en ocasiones cursa sin presentar síntomas. Externamente puede provocar graves lesiones en piel aletas y branquias. En los órganos internos puede provocar hipertrofia del bazo, anemia hepática y en algunos casos septicemias generalizadas

El género *Flavobacterium* presenta muchas similitudes con los géneros *Cytophaga* y *Flexibacter*. Son bacilos alargados Gram-negativos, de 0,3-0,5 µm de diámetro y 2-5 µm de largo, móviles por deslizamiento y sin flagelos. Sus colonias presentan una pigmentación amarilla.

El *F. psychrophilum* es lo que se denomina un microorganismo «fastidioso», por su dificultad de cultivo y manipulación. Crece lentamente (3 a 5 días) por debajo de los 18 °C y en medio de cultivo específico, por lo que para diagnosticarlo se suele recurrir a la visión en fresco de las colonias (bacilos alargados móviles) o a la PCR múltiple de *A. salmonicida*, *Y.ruckeri* y *F.psychrophilum* (Del Cerro y cols., 2002a).

Los peces se infectan a través del agua, o por contacto directo con otros peces. Las granjas pueden infectarse por entrada de alevines o huevos infectados.

Los brotes se tratan con antimicrobianos, (oxitetraciclina y florfenicol) pero son frecuentes las resistencias a ambos y no se puede realizar un antibiograma estandarizado. No existen vacunas efectivas. Se han conseguido avances en la vacunación intraperitoneal, pero esta resulta inviable en alevines.

### Boca roja (causada por *Yersinia ruckeri*)

Ampliamente diseminada, esta bacteria es un gran problema en Europa y América del Norte. Causa septicemia generalizada que puede ir acompa-

ñada o no de congestión de los vasos de la cavidad oral, de ahí su denominación de «boca roja». No existen hemorragias musculares. Los síntomas incluyen exoftalmia, anorexia, oscurecimiento de la piel y aletargamiento, pero en alevines puede provocar mortalidades sin síntomas.

Las vacunas muertas por inmersión son efectivas para su prevención, pero comienzan a aparecer cepas para las que las vacunas comerciales no son efectivas. Responde generalmente bien a tratamientos antibióticos

### **Vibriosis (*Vibrio anguillarum*)**

Los vibrio spp son comunes de ambientes marinos. Las pérdidas por vibrio en jaulas de agua de mar son estacionales (aguas templadas) y ocurren tras episodios de estrés. Los brotes suelen ser agudos y generar grandes mortalidades si no se trata a tiempo. Los síntomas son los de una septicemia generalizada, con congestión y necrosis hepática y renal (podremos ver hemorragias extensas en hígado), peritonitis hemorrágica y exoftalmia. Suelen aparecer úlceras necróticas en los flancos. Existen muchos biotipos. Las vacunas muertas funcionan y han de incluir los biotipos locales. Los peces se vacunan antes de introducirse en el ambiente marino. Generalmente se utiliza la inyección intraperitoneal, pero también funciona en inmersión.

### **Forunculosis (*Aeromonas salmonicida* sb *salmonicida*)**

Es un gran patógeno de los salmónidos en América y Europa. La enfermedad ocurre en agua dulce y también puede afectar al pescado justo cuando se transfiere a agua salada.

La Forunculosis se puede manifestar clínicamente en muchos grados. La forma aguda se parece bastante a la vibriosis, con pequeñas hemorragias en todas las vísceras. Las crónicas desarrollan los típicos forúnculos.

La especie, el sexo, la edad, el tamaño de los peces son factores de riesgo determinantes para contraer la enfermedad. El estrés también influye, por ejemplo cuando los salmones entran en el río para desovar. La trucha arco iris no es tan susceptible como la fario, y suele recuperarse

• simplemente dejándola sin comer varios días, aunque puede necesitar tratamiento antibiótico si las condiciones ambientales son malas. Las vacunas son efectivas pero no suele ser necesario incluirla en los programas vacunales.

• Existen distintas técnicas de diagnóstico, desde las más clásicas, a partir de hígado, riñón o bazo de peces enfermos, sembrando en medios convencionales, TSA, e incubando 48-72 horas a 20-22 °C, y posterior aglutinación directa en portaobjetos; hasta las técnicas de inmunofluorescencia directa, ELISA directo o técnicas moleculares como la PCR o RAPD.

### • **Lactococosis de la trucha arco iris (*Lactococcus garvieae*)**

• Esta bacteria Gram positiva, causante de mamitis en bovinos, se adaptó a los peces y produjo los primeros brotes en España a finales de los años 80 y principios de los 90. Desde entonces todos los años se han diagnosticado brotes de lactococosis, siendo en estos momentos una de las enfermedades infecciosas de mayor repercusión sanitaria y económica en la Europa Mediterránea.

• En Europa se han descrito tres grupos geográficos: (1) Grupo Italia/Israel; (2) Grupo España/Grecia/Bulgaria y (3) Grupo Frances (Eyngor y cols., 2004). La importación de peces vivos constituye la vía de diseminación más importante. Esta enfermedad se presenta en brotes agudos por encima de los 17 °C durante los meses más cálidos. Afecta a todas las edades pero sobre todo a ejemplares grandes. Cursa entre otros síntomas, con oscurecimiento de la piel, hemorragias en aletas, panoftalmitis (inflamación purulenta de todo el ojo), septicemia generalizada, encefalitis, pericarditis y hemorragias muy extensas en hígado.

• Los métodos para para combatirla incluyen la vacunación intraperitoneal de todos los peces que van a ser susceptibles por tamaño en la época de riesgo, limitar la manipulación de los peces al mínimo con temperaturas altas, y el tratamiento por antimicrobianos orales en caso de algún brote.

### • **Enfermedad Bacteriana del Riñón, BKD (*Renibacterium salmoninarum*)**

• Este patógeno afecta a todas las especies de salmónidos y tiene una amplia distribución mundial. Es una enfermedad crónica que genera mortali-

dades en peces al final de su ciclo productivo. Transmisión horizontal y vertical. Las medidas para minimizar la transmisión vertical incluyen el muestreo de óvulos y semen con fluorescencia o PCR, el tratamiento con eritromicina previo al desove, y los baños de eritromicina en huevos antes de que se endurezcan. Los peces presentan exoftalmia, oscurecimiento, y granulomas grises o blanquecinos en el tejido retículoendotelial. El cultivo es muy lento y difícil. Se puede usar para diagnóstico la tinción Gram de órganos afectados, buscando los típicos diplobacilos Gram positivos. PCR, fluorescencia o histopatología también son métodos utilizados.

### Parásitos

#### Enfermedad del torneo (*Myxobolus cerebralis*)

Este parásito necesita de un gusano para completar su ciclo. De los gusanos se liberan esporocistos que contienen las actinosporas que infectan a los peces. Los peces se infectan por ingestión directa de las actinosporas o de los gusanos. Las esporas comenzarán a colonizar el cartílago de la columna y el cráneo. El color de la cola del pez se vuelve negro. En un par de meses desde el inicio de la infección, llegarán al cartílago craneal de los alevines. Se producen daños en la cápsula auditiva, de ahí el movimiento en torneo de los peces. La mortalidad puede ser alta en esta etapa. Los que sobreviven tendrán deformidades esqueléticas.

La infección clínica se puede observar cuando los alevines se crían en estanques de tierra. El diagnóstico es sencillo por histopatología, al detectar las esporas características en el cartílago. El control es sencillo: no criar a los alevines en estanques de tierra, y limpieza y desinfección frecuente de los de fibra o cemento. Una vez que el pez tiene el cartílago maduro ya es inmune a la infección.

#### PKD (enfermedad proliferativa del riñón)

Causada por un mixosporidio. La enfermedad es más frecuente a comienzos del verano con temperaturas de 12-18 °C. La mortalidad depende de la calidad de agua y la temperatura. En invierno es asintomática. Los salmónidos parecen ser un hospedador accidental.

Se localiza principalmente en el riñón, donde crecen los trofozoíto pero no llegan a esporular. El tejido renal responde con una gran reacción granulomatosa: estará agrandado y con puntos blanquecinos, pero no caseoso como en BKD. Bazo y branquias pálidas. También exoftalmia distensión abdominal, ascitis, oscurecimiento y anemia.

### Hexamitiasis (Octomitus)

En alevines puede provocar brotes agudos con mortalidades de hasta el 10% sin ningún otro síntoma. Los síntomas más comunes son la pérdida de apetito, oscurecimiento, letargia o nerviosismo y heces colgantes blanquecinas.

Al abrir los peces el intestino suele estar inflamado lleno de líquido claro o amarillo.

Este contenido intestinal a gran aumento permitirá ver a los protozoos flagelados moviéndose rápidamente en ochos. No suele ser necesario tratar a los peces.

### Técnicas de diagnóstico clásico

- Observación en fresco: *Flavobacterium*
- Tinción frotis/raspado: *Flavobacterium*
- Aislamiento en medios de cultivo

TSA, NA (Agar nutritivo), Agar sangre	no específicos
BEA (Bilis Esculina Agar)	<i>Lactococcus garvieae</i>
KDM2 y SKDM	<i>Renibacterium salmoniarum</i>
Cytophaga	<i>Flavobacterium psychrophilum</i>
TCBS, TSA o NA + 2% NaCl	Vibrios

## Identificación bacteriana

Bacteria	Color colonia	Forma bacteria
<i>Flavobacterium psychrophilum</i>	Naranja-amarillo (Cy)	Filamentosa
<i>Lactococcus garvieae</i>	Blanco(TSA)/Negra(BEA)	Coco-bacilo
<i>Yersinia ruckery</i>	Blanco-gris (AS)	Bacilo
Aeromonas	Crema (TSA)	Bacilo
Pseudomonas	Crema (TSA)	Bacilo
<i>Aeromonas salmonicida</i>	Pigmento marrón (TSA)	Coco-bacilo

Bacteria	Hemólisis	Movilidad	Oxidasa	Catalasa	37 °C	O/F
<i>A. hidróphila</i>	+	+	+	+	+	F
<i>A. salmonicida</i>	+	-	+	+	-	F
<i>Y. ruckeri</i>	-	+	-	+	+	F
Pseudomonas	-	+/-	+	+	(+)	NC/O
Lactococcus	-	-	-	-	+	F
Vibrio	+(b)	+++	+	+		

## Mortalidad por cortes o deterioro de la calidad del agua

En las granjas pueden ocurrir accidentes de origen externo, bien por cortes o variaciones bruscas de caudal o bien por contaminación. La contaminación puede ser aguda o crónica. Las agudas suponen una alteración fisicoquímica del agua en un corto periodo de tiempo por un vertido puntual. Suele ser muy difícil encontrar al causante o incluso obtener una muestra del agua alterada, ya que en muchos casos el vertido atraviesa rápidamente las instalaciones y lógicamente los operarios estarán más centrados en salvar a los peces que en obtener pruebas.

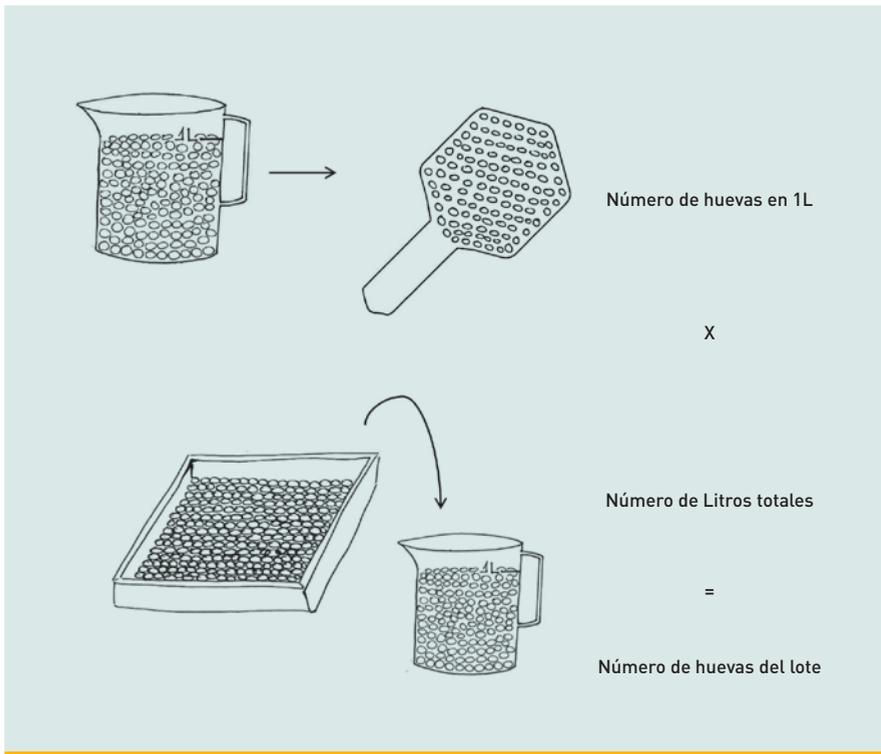
La dosis tóxica dependerá de la sustancia, el pH del agua, el tiempo de exposición, el estado sanitario, etc.

Las crónicas son más difíciles de valorar, ya que más que provocar mortalidad directa la provocan indirectamente al favorecer la aparición de enfermedades bacterianas o micóticas.

Ante la sospecha de un vertido hay que advertir inmediatamente a la oficina agraria comarcal más cercana, Seprona, o a cualquier técnico competente que pueda dar fe para que actúen de testigos en la toma de muestras, que habría que tomar por triplicado. Conviene tener siempre en la instalación varios recipientes estériles de dos litros. La rapidez en la toma de muestras será fundamental a la hora de detectar la causa.

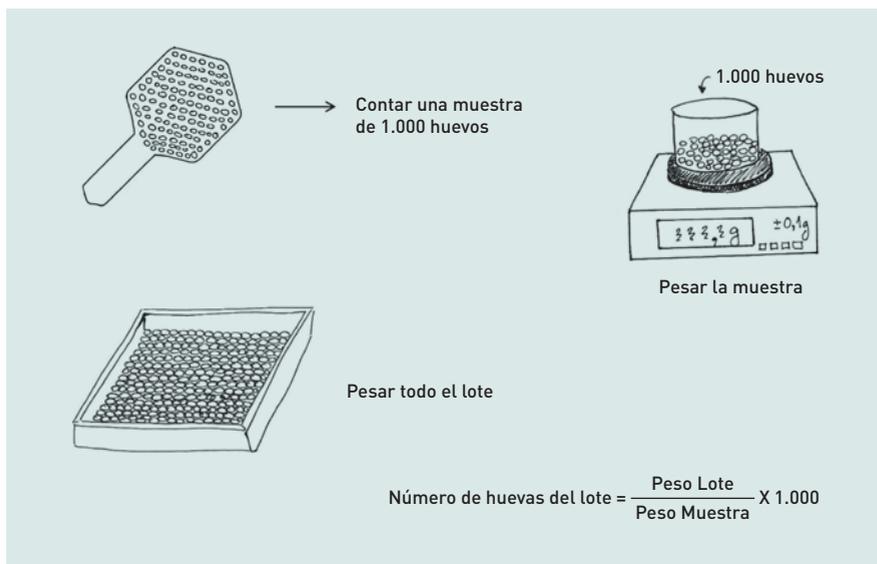
## ANEXO 1: CONTEO DE HUEVOS

- **Volumen escurrido:** Se cuenta el número de huevas contenidas en un litro de huevas escurridas, utilizando una placa de conteo. Después de esto, el volumen drenado del lote completo se define utilizando una jarra de 1 litro. Las dos cifras se multiplican igualando el número total de huevas.



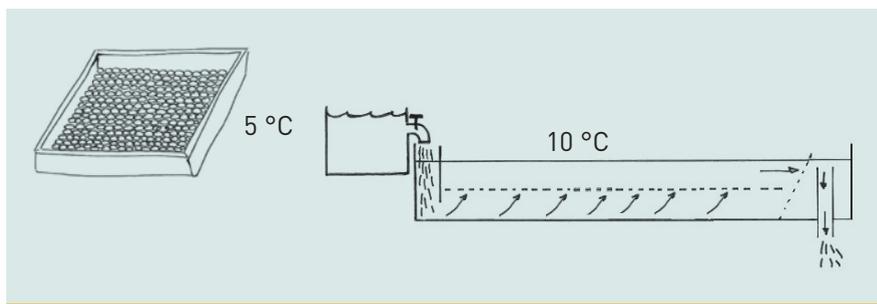
## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS

- **Peso:** Se cuenta un mínimo de 1000 huevas, utilizando una paleta de conteo. Posteriormente estas son drenadas y pesadas en una balanza de precisión (+/-0,1 gramos), para calcular el peso de 1000 huevas. Luego hay que drenar y pesar el lote completo. Este valor es luego dividido por el peso de 1000 huevas y multiplicado por 1000, lo que equivale al número total de huevas.



## ANEXO 2: ACLIMATACIÓN DE HUEVOS

Ejemplo:



Diferencia de temperaturas = 5 °C (agua a 10 °C – huevo a 5 °C),

Tiempo recomendado para la igualación = 5 x 20 = 100 minutos.

En una regadera, o utensilio similar, preparar agua de su instalación a una temperatura aconsejada de +1 °C sobre la T<sup>a</sup> de la huevo, en este caso 6 °C (se puede usar el hielo sobrante de las cajas). Aplicar un chorro a todas las bandejas por igual y esperar 10 minutos aproximadamente.



Repetir la operación de preparar el agua, esta vez a 7 °C, distribuirla sobre las bandejas y esperar nuevamente 10 minutos.

Comprobar con el termómetro que la huevo de las diferentes bandejas se está aclimatando de acuerdo a lo deseado.

Repetir estas operaciones tantas veces como sea necesario hasta igualar la temperatura de huevo y agua.

### **ANEXO 3. VACUNACIÓN**

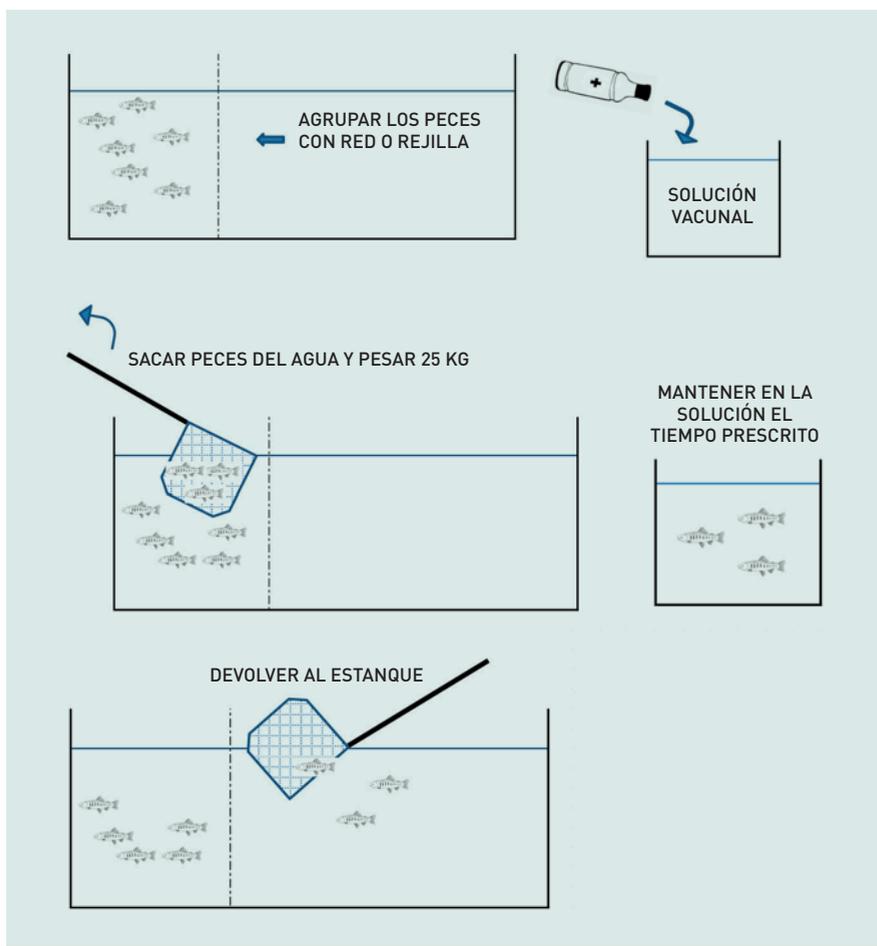
Salvo en la vacunación oral, a los peces se les mantiene en ayuno durante 24 o 48 horas antes de la vacunación con el objetivo de disminuir su metabolismo antes del manejo.

## EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCO IRIS

Para que sea efectiva, la temperatura del agua deberá estar entre los 8 °C y los 20 °C.

La elección de uno u otro método dependerá de la enfermedad a prevenir, del número y tamaño de peces a vacunar y del tiempo y equipos disponibles.

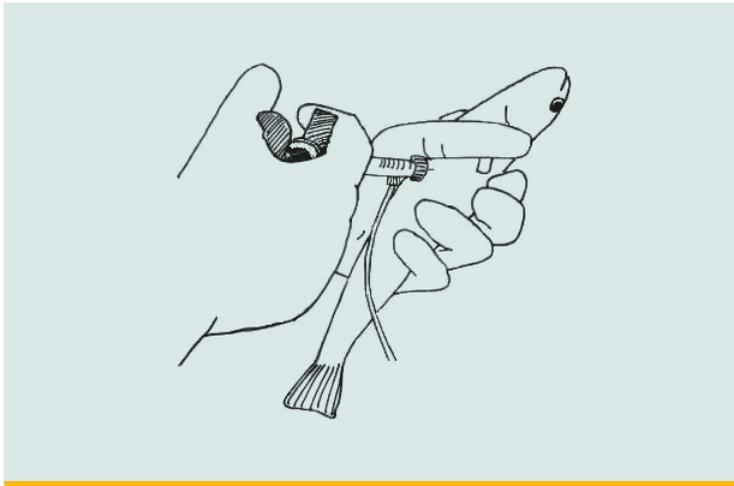
### Vacunación por inmersión



### **Vacunación intraperitoneal manual**

Los peces se extraen del estanque y se depositan en un contenedor para aplicarles un baño anestésico preparado según la prescripción. Conviene ser muy precisos con las dosis y tiempos de la anestesia para la seguridad del vacunador y para la seguridad y el bienestar de los peces.

Posteriormente se traslada al pez a una mesa para ser vacunado en un área muy específica del abdomen



Los vacunadores han de protegerse las manos para evitar pinchazos accidentales. El personal experimentado logra precisiones que rondan el 95% y pueden llegar a vacunar una media de 15.000 peces al día.

Finalmente los peces se devuelven a un tanque de recuperación donde se recuperan de la anestesia en unos minutos. Cuanta mayor sea la aireación del tanque más rápida será la recuperación.

### **Vacunación intraperitoneal a máquina**

Los equipos de vacunación automática se componen de una mesa de vacunación, donde el personal ha de introducir los peces uno a uno en los canales de vacunación. En estos canales están instaladas fotocélulas o cámaras que indican a los inyectores cuándo inyectar al pez. Algunos

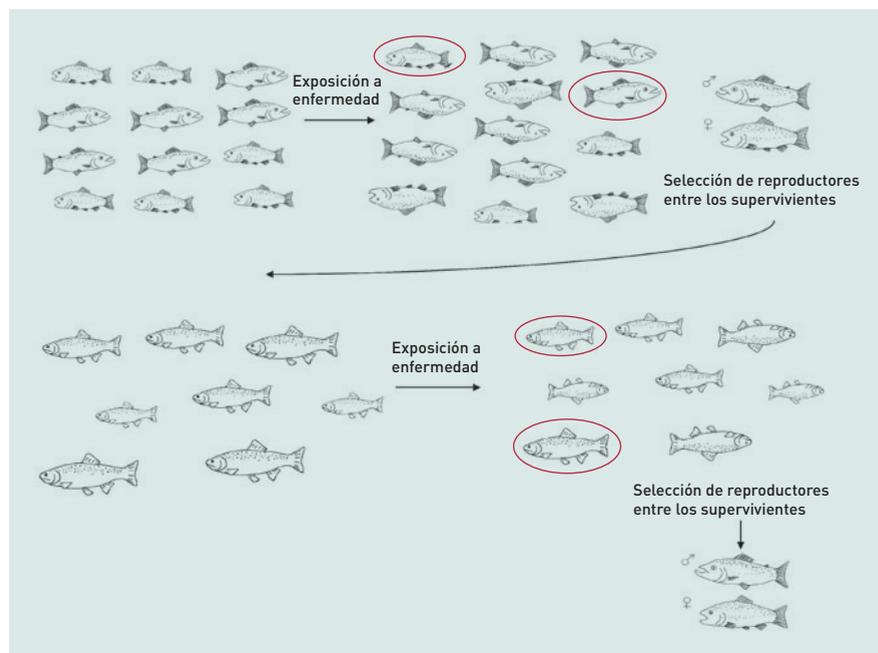
modelos incluso giran el pescado para que encuentre a la aguja siempre en la posición correcta.

Pueden tener incorporadas antes de la mesa un recipiente para la mezcla del anestésico y un transportador que escurre el pescado y lo traslada a la mesa.

### ANEXO 4. CRÍA SELECTIVA

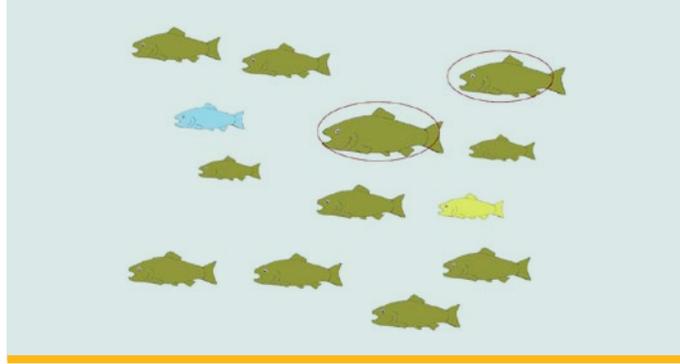
#### Métodos de selección tradicionales

**Selección natural.** Puede utilizarse para seleccionar ejemplares de mayor resistencia a una enfermedad con alta tasa de mortalidad. Fue utilizada, por ejemplo con VHS, donde la tasa de mortalidad de VHS fue reducida significativamente en pocas generaciones seleccionando individuos resistentes como reproductores.

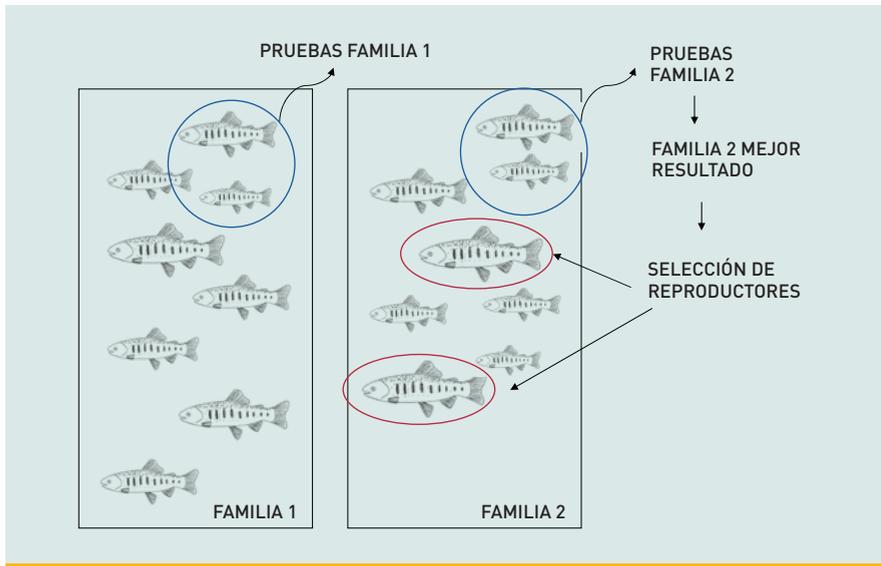


**Selección individual o masal:** en este método se seleccionan los individuos de acuerdo a las características deseadas. El método resulta eficaz en el caso de caracteres con alta heredabilidad, pues estamos seleccio-

nando a partir del fenotipo. La respuesta a la selección se verá incrementada debido a la posibilidad de selección en ambos sexos.



**Selección por familia:** en este método la unidad de selección es un grupo de individuos hermanos. Se seleccionan peces basándonos en la información de pruebas realizadas a sus hermanos, calculando el potencial genético de cada familia. Si las pruebas se realizan en diversos ambientes nos permite tener en consideración los efectos del ambiente. Es más eficaz para caracteres con baja heredabilidad.



**Selección con Prueba de Progenie:** en este método se calcula el valor de un individuo en base al comportamiento de su progenie. Tiene mucha utilidad en animales y en rasgos que se expresan en uno sólo de los sexos, o que han de medirse tras sacrificio, como por ejemplo, la intensidad de la pigmentación de la carne.

**Selección por más caracteres:** cuando debemos realizar la selección por más de un carácter se puede realizar por tándem, por niveles de elección independiente o utilizando un índice de selección. Con los primeros dos métodos se seleccionan individuos que superan cierto valor mínimo para un solo rasgo. Con un índice de selección los individuos se eligen en base al mérito total de dos o más rasgos. Hay varios métodos para construir un índice. Se deberán tener en cuenta, principalmente, la importancia económica, la heredabilidad y las correlaciones entre los rasgos incluidos en el índice.

### Métodos de selección avanzados

#### Selección asistida por marcadores

Los caracteres cuantitativos se ven afectados por un gran número de genes (loci), pero en ese grupo de genes algunos pueden tener un efecto mayor que el resto. Estos genes de mayor efecto (locus), o una zona cercana a ellos, pueden marcarse molecularmente. Una vez marcados, el genotipo de los peces en dicho locus puede utilizarse para la selección.

A pesar de que la trucha arco iris ya tiene su genotipado completo, los marcadores cuantitativos (QTLs) disponibles aún son escasos.

#### Selección genómica

En las técnicas tradicionales, el potencial genético del individuo se basa en el pedigrí de sus progenitores y la heredabilidad de esos caracteres, así que salvo que esperemos tres años y evaluemos su comportamiento productivo, no podemos saber si su genoma es en realidad mejor o peor que la media de sus padres.

La selección genómica permite analizar miles de marcadores simultáneamente, a un coste moderado. Y si conocemos un gran número de

- marcadores para un reproductor determinado, puede estimarse su valor genético basándose en asociaciones de esos marcadores con rendimientos productivos establecidos en una población de referencia que hemos evaluado y genotipado previamente.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Acierno, R. (et al.) (2006). *Manual on effluent treatment in aquaculture: Science and Practice*. Aquaetreat. [Consultado el 02/08/2013] <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6496/>.
- Wheaton F., Wortman, B., ( 1991.) «*Temperature effects on bio-drum nitrification*». *Aquacultural Engineering* 10:183-205.
- Aenor-MARM (2005). UNE 173001. *Acuicultura. Procesos productivos. Trucha*.
- Aenor-MARM (2007). UNE 173002: *Acuicultura. Procesos productivos. Producción ecológica de Trucha*.
- Aenor-MARM (2008) *Guía de Prácticas Correctas de Higiene*.
- Alabaster, J.S., Lloid, R. (1982). *Water quality criteria for freshwater fish*. Butterworth Scientific.
- Austin B. , Austin D.A. (2007) *Bacterial fish pathogens: Disease of farmed and wild fish*. Cuarta edición. Springer-Praxis Books.
- Barceló, Damiá, y cols. (2008) *Aguas continentales. Gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua*. Ed. CSIC.
- Beveridge, Malcolm C. M - Little, David C. (2007). *Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution*.
- Blanco Cachafeiro M.C. (et al.). (1976) *Tratado de piscicultura. I jornada Nacional sobre la trucha*. Ed. Grupo Sindical de Piscicultores.
- Blanco Cachafeiro, M. C. (1984) *La Trucha: Cría Industrial*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Boeuf, G. et A. MEDINA. 1988. «*Evolución de la piscicultura en Chile*». *La Pisciculture Française*, 93: 3-23.

- Boyd, C.E. (2000). *Water quality: An introduction*. Kluwer Academic Publishers.
- Breton B. (2007) *El cultivo de la trucha*. Ediciones Omega.
- Brown, L. (2000) *Acuicultura para Veterinarios: Producción y clínica de peces*. Editorial Acribia.
- Charlon, N., B. Barbiet, and I. Bonnet. (1970) «Resistencia térmica de la trucha arco iris, *Salmo gairdneri*, Richardson, a cambios bruscos de temperatura.» *Ann. Hydrobiol.* 1: 71-89. (En francés).
- Chevassus B. (1979) «Hybridization in Salmonids: results and perspectives». *Aquaculture*, 17: 113-128.
- Chevassus B., et al. (1979) «El control de la reproducción de los peces, 1 y 2.» *Bull Fr Pêche Pisc.*, 274: 18-46.
- Cómo aclimatar los huevos. [Consultado el 11/09/2013] <http://www.ovapiscis.com/esp/manejo.asp?secc=p>.
- Cómo incubar los huevos. [Consultado el 11/09/2013] <http://www.ovapiscis.com/esp/incubacion.asp?secc=p>.
- Cowx, I. G. *Cultured Aquatic Species Information Programme. Oncorhynchus mykiss*.: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Roma. Actualizado el 15 Junio de 2005. [Consultado el 11 de Agosto de 2013]. [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus\\_mykiss/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/en).
- Daye, P.G., Garside, E.T. (1976). «Histopathologic changes in superficial tissues of brook trout *Salvelinus fontinalis* exposed to acute and chronic levels of pH». *Can. J. Zool.* 54: 2140-2155.
- Del Cerro, A., Márquez, I., Guijarro, J.A. (2002a). «Simultaneous detection of *Aeromonas salmonicida*, *Flavobacterium psychro-*

*philum, and Yersinia ruckeri, three major fish pathogens , by multiplex PCR». Appl. Environ. Microbiol. 68: 5177-5180.*

Eyngor, M., Zlotkin, A., Ghittino, C., Prearo, M., Douet, D.G., Chilmonczyk, S., Eldar, A. (2004). «*Clonality and diversity of the fish pathogen Lactococcus garvieae in mediterranean countries*». *Appl. Environ. Microbiol.* 70: 5132-5137.

Federación de Productores de Acuicultura Europeos. Level playing field [Consultado en agosto 2013] .<http://www.feap.info/default.asp?SHORTCUT=609>.

FishStat Plus - Programa informático universal para series cronológicas de estadísticas pesqueras [Consultado en agosto 2013] <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/es>.

Fivelstad, S., Waagbø, R., Zeitz. S.F., Hosfel., A.C.D., Olsen, A.B., Stefansson, S. (2003). *A major water quality problem in smolt farm: combined effects of carbon dioxide, reduced pH and aluminium on Atlantic salmon (Salmo salar L.) smolts: physiology and growth. Aquaculture.* 215: 339-357.

González Laxe F., Prado Domínguez J. (2008) *El canon de saneamiento y su aplicación en la acuicultura continental española*. Editorial IUEM-Netbiblo.

Halverson A. (2010) *Rainbow trout: An entirely synthetic fish. How Rainbow trout Beguiled America and overran the world*. Yale University Press.

Janhunen M. [et al.] «*A novel breeding design to produce genetically protected homogenous fish populations for on-growing*» *Aquaculture Research* 10.1111/j.1365-2109.2012.03190.x

- Jensen, F.B. (2003). «Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals». *Comparative Biochemistry and physiology*. 135: 9-24.
- Jonhsen, B.O., Jensen, A.J. (1991) «The Gyrodactylus story in Norway». *Aquaculture*. 98:289-302.
- Kinkelin P., Michel C. y Ghittino P. (1985) *Tratado de las enfermedades de los peces*. Ed. Acribia.
- Korsholm H. Ministry of Food Agriculture and Fisheries - Danish Veterinary and Food Administration. (2011) «Experience with control and eradication of VHS in Denmark & health programs of IPN, BKD and merging Diseases» [Consultado el 11 de Agosto de 2013] <http://www.biomar.com/Countries/Chile/Eventos1/Korsholm.pdf>.
- Lekang O.I. (2013) *Aquaculture Engineering*. 2nd Edition. John Wiley & Sons, Ltd.
- Lhorente J.P.-Aquainnovo (2011) «Situación actual de los Programas Genéticos de Trucha en Chile» [Consultado el 11 de Agosto de 2013] <http://www.biomar.com/Countries/Chile/Eventos1/Lhorente.pdf>.
- Lizasoain Minondo J.(1914) *Inspección de Repoblación Forestal y Piscícola*, 15.
- MacCrimmon H.R. (1971) «World Distribution of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*)», *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1971, 28:663-704, 10.1139/f71-098.
- Márquez Llano-Ponte, I. (2009) Tesis Doctoral. *Evolución histórica de las principales patologías asociadas a la salmónica en el Principado de Asturias*. Universidad de Zaragoza.

- Molony, B. (2001) *Environmental requirements and tolerances of Rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) and Brown trout (Salmo trutta) with special reference to Western Australia: A review. Fisheries Research Report N°.* 130.
- Mountounet, Y. «Potencial de los sistemas de recirculación y oxigenación» Primer Encuentro Nacional de Acuicultura Continental, 6 junio 2007. [Consultado en agosto 2012] <http://www.atrugal.org/web/index.php/2007/06/07/i-encuentro-nacional-de-acuicultura-continental>.
- Newcombe, C.P., Jensen, J.O.T. (1996). «Channel suspended sediment and fisheries: A synthesis for quantitative assessment of risk and impact». North American Journal of Fisheries Management. 16: 693-727
- Nielsen, T. (2011) The Future of Rainbow Trout Breeding. [Consultado el 11 de Agosto de 2013] <http://www.biomar.com/Countries/Chile/Eventos1/Nielsen.pdf>.
- Observatorio de precios de los alimentos - MARM (2011) Estudio de la cadena de valor y formación de precios de la trucha arco iris de acuicultura. [Consultado el 01/09/2013] [http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los-alimentos/Trucha\\_\\_CVP\\_tcm7-183100.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/servicios/observatorio-de-precios-de-los-alimentos/Trucha__CVP_tcm7-183100.pdf).
- OIE *Aquatic Animal Health Code* [Consultado en marzo 2013] [http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Health\\_standards/aahm/2010/2.3.03\\_GYRO.pdf](http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Health_standards/aahm/2010/2.3.03_GYRO.pdf).
- Ortega V.A., Renner K.J., Bernier N.J. (2005). «Appetite-suppressing effects of amonia exposure in rainbow trout associated with regional and temporal activation of brain monoaminergic and CRF systems». J.Exp Biol. 208: 1855-66.

- Piedrahita, R.H. (2012). Suspended solids characterization and control. En: Sistemas de rescirculación y su aplicación en acuicultura. CIHEAM. Zaragoza 14-18 mayo 2012.
- Reiser, D.W., White, R.G. (1988). «*Effects of two sediment size-classes on survival of steelhead and Chinook salmon eggs*». *North American Journal of Fisheries Management*. 8: 432-437
- Roberts, R.J. (2001). *Fish Pathology*. Wd Saunders. Harcourt Publishers Ltd.
- Roberts, R.J.; Shepherd, C.J. (1997) *Handbook of trout and salmon disease*. 3ª Ed. Fishing News Books Ltd.
- Rusten B, Eikebrokk B, Ulgenes Y, Lygren E (2006). «*Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors*». *Aquacult Eng*. 34: 322-331.
- Rusten B, Siljudalen JG, Wien A, Eidem D (1998). «*Biological pre-treatment of poultry processing wastewater*». *Water Science Technol*. 38: 19-28.
- Smith G.R., Stearley R.F. (1989). «*The classification and scientific names of rainbow trout and cutthroat trouts*». *Fisheries* 14:4-10
- Soderberg, R.W., Flynn, J.B., Schmittou, H.R. (1983). «*Effects of ammonia on growth and survival of rainbow trout in intensive static-water culture*». *Transactions of the American Fisheries Society*.112: 448-451
- Soderberg, R.W., Flynn, J.B., Schmittou, H.R. (1983). «*Effects of ammonia on growth and survival of rainbow trout in intensive static-water culture*». *Transactions of the American Fisheries Society*.112: 448-451

Vehviläinen *et al.* (2010). Proceedings of the 9th world congress on genetics applied to livestock production: August 1-6, 2010 Leipzig, Germany.

Vehviläinen *et al.* (2012). Environmental stability of responses created by line selection: Finnish rainbow trout Growth vs. Delayed Maturity -lines in Vietnam. [Poster workshop Nord-Gen Farm Animals consultado el 01/09/2013] [http://www.nordgen.org/ngdoc/husdyr/workshops/AnGR/mid-term%20conference/posters/Harri\\_Vehvil%C3%A4inen.pdf](http://www.nordgen.org/ngdoc/husdyr/workshops/AnGR/mid-term%20conference/posters/Harri_Vehvil%C3%A4inen.pdf).

Vehviläinen H. (*et al.*) «*Untangling the positive genetic correlation between rainbow trout growth and survival*». *Evolutionary Applications*, :10.1111/j.1752-4571.2012.00251.

Vehviläinen, H., Kaune, A., Koskinen, H. *et al.* (2010) *Genetics Research* 91: 1-11.

Vivier P. (1954) *La pisciculture. Que sais je?* Presses Universitaires De France.

WAHIS World Animal Health Information System [Consultado en marzo 2013][http://www.oie.int/wahis\\_2/public/wahid.php/Wahidhome/Home](http://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Wahidhome/Home).

Wojnarovich, Hoitsy y Moth-Poulsen (2011) *Small-scale rainbow trout farming*. FAO technical paper 561.



