

INTRODUCCIÓN A LA BIOLOGÍA DE LOS PECES

Miguel Alberto Mancini. 2002. Cursos Introducción a la Producción Animal y Producción Animal I, FAV UNRC.
www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Piscicultura](#)

5.1. NOCIONES SOBRE ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA DE LOS PECES

Los peces son animales de sangre fría (ectotermos = poiquilotermos), caracterizados por poseer vértebras, branquias y aletas. Dependen fundamentalmente del agua, que es el medio donde viven. Su origen se remonta al período devónico, hace 300 millones de años. Los peces son los vertebrados más numerosos estimando que hay cerca de 20.000 especies vivientes (cuadro 1).

Cuadro 1. Composición porcentual de los grupos de vertebrados más recientes

Vertebrados	Número	%
Anfibios	2500	6,0
Mamíferos	4500	10,8
Reptiles	6000	14,4
Aves	8600	20,7
Peces	20000	48,1

CLASIFICACIÓN DE LOS PECES

Los peces se clasifican en tres grandes grupos elementales:

Placodermos: Son peces acorazados, especies arcaicas ya extinguidas.

Condroictios: Peces cartilaginosos como es el caso de rayas, tiburones, etc. Se caracterizan por tener esqueleto cartilaginoso, piel recubierta por escamas placoideas (con una placa en la base y una espina saliente), poseer de cinco a siete pares de branquias separadas por laminillas branquiales (por eso también se los denomina elasmobranquios; elasma = laminilla), aleta caudal con un lóbulo mayor que el otro y la boca provista de varias series de dientes, muy duros y puntiagudos, que son reemplazados por los anteriores cuando estos se caen por el uso.

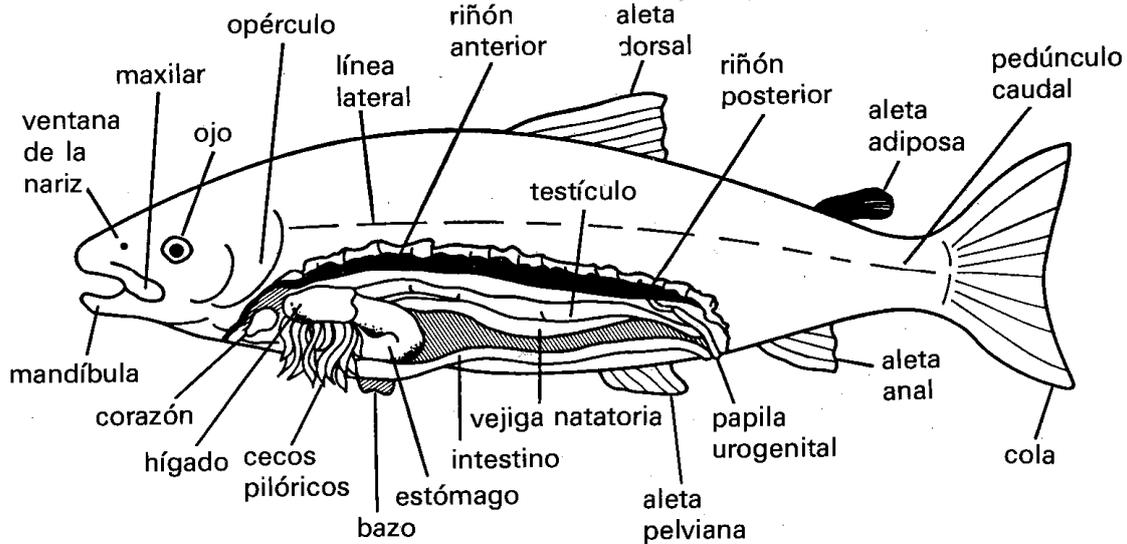
Osteictios: Peces óseos (teleosteos), son los más numerosos y complejos, y donde ya se han clasificado más de 20.000 especies. La mayoría de ellos se encuentran actualmente poblando las aguas continentales y marítimas.

Entre las características sobresalientes de los peces óseos se destacan las siguientes:

- 1- Son vertebrados acuáticos de esqueleto óseo.
- 2- Respiran por medio de branquias
- 3- Tienen la piel recubiertas por escamas.
- 4- Presentan sistemas circulatorio simple.
- 5- Poseen aletas de diversas estructuras y formas.
- 6- Su reproducción es generalmente externa.
- 7- Son animales poiquilotermos.
- 8- Tienen vejiga gaseosa.

La anatomía de los peces (figura 1) se encuentra condicionada por dos grandes factores que inciden sobre su existencia, por una parte el medio acuático, y por otra la condición de animales poiquilotermos. Muchas de las funciones de los teleosteos son similares a las de otros vertebrados y no deben considerarse como primitivos precursores de dichos mamíferos, son avanzados desde el punto de vista de la evolución y casi infinitos en su diversidad.

Figura 1. Esquema básico de la anatomía de un salmónido (según Roberts, 1981).



ASPECTO EXTERIOR

Tegumento

La piel es la primera barrera de protección del pez frente al medio acuático. Esta es húmeda y tiene en la epidermis glándulas mucosas que a través de la secreción de mucus lubrican la piel y la protegen de agentes externos nocivos. El mucus puede aumentar por agentes irritantes, parásitos y bacterias y, por otra parte, le permite al pez desplazarse mejor. El olor típico de los peces está dado por el mucus.

También se encuentran en la piel una cubierta de escamas que protegen al cuerpo y una serie de pigmentos y células sensitivas de la línea lateral. Algunos peces recién nacidos, como las truchas, no tienen escamas. Estas se forman a medida que crecen, comenzando aproximadamente a desarrollarse desde los tres centímetros de longitud a partir de la dermis. Las escamas tienen cuatro campos: anterior, posterior y dos laterales; solo el posterior es visible; el resto está cubierto por la dermis.

Todos los factores que influyen en el crecimiento se traducen de alguna manera en la escama. De todos estos factores quizá el más importante sea la alimentación, ya que cuando el pez se alimenta abundantemente, la escama presenta una zona bien calcificada y ancha y cuando el pez deja de alimentarse (por causas como frío, reproducción o disminución en la cantidad de alimento) hay poca calcificación y se forma una zona estrecha que se interpretaría como anillo de crecimiento. Mediante el estudio de las escamas se puede determinar en algunos casos la edad y el número de frezas, entre otras cosas.

Los pigmentos son sustancias químicas producidas en su mayoría por el pez. Se alojan en células especializadas llamadas cromatóforos o están impregnados en los tejidos. Estos pigmentos pertenecen a cuatro grupos principales: carotenoides, flavinas, melaninas y guaninas. La melanina es sintetizada en la dermis en células llamadas melanóforos que según su concentración producen color pardo, gris o negro. Las guaninas son cristales macroscópicos de desecho metabólico que se depositan en la superficie de la escama dando una cubierta plateada altamente reflectiva. Los carotenoides son pigmentos de tonalidad anaranjada que no son sintetizados por el pez, sino que deben ser incorporados por el alimento, ya sea a través del balanceado o por medio de crustáceos en el ambiente natural. Luego sí son reelaborados por el pez y fijados a los tejidos adiposos. La flavina produce color rojo o amarillo.

Las coloraciones de los peces pueden deberse también a fenómenos físicos de refracción de la luz. Por ejemplo, las guaninas pueden dar coloraciones iridiscentes. Estos cambios de color les sirven para camuflarse, reconocer especies, sexo, etc.

ÓRGANOS DE LOS SENTIDOS

Vista

Los ojos de los peces carecen de párpados y de glándulas lagrimales. Los cristalinos esféricos sobresalen y al estar ubicados a ambos lados de la cabeza, le permite al pez ampliar su campo visual. Para enfocar la imagen sobre la retina, en vez de modificar la curvatura del cristalino como en el caso del humano, los peces lo hacen acercando o separando el cristalino mediante el ligamento que lo sostiene. En general, los peces están adaptados a una visión cercana y de poca luz.

Tacto

Es bastante complejo ya que los peces están inmersos en un medio líquido y una vibración lenta puede ser percibida desde lejos a diferencia del medio aéreo. Hay papilas táctiles distribuidas a lo largo del todo el cuerpo, muy abundante en las barbas o barbillones y en la línea lateral. Esta última por ejemplo le permite percibir ondas de presión en el agua.

Olfato

Al estar las partículas disueltas en el agua, no se puede precisar bien si se trata de sentido del gusto o del olfato, pero se lo toma como olfato. Es un sentido a distancia que le permite detectar presas, enemigos, presencia de un curso de agua, etc. Los peces poseen dos orificios nasales los cuales están separados por un puente a cada lado de la cabeza, un orificio de entrada y uno de salida. En cada canal hay células sensoriales especiales que se comunican con el cerebro. El olor disuelto en el agua al ponerse en contacto con esas células es transmitido al cerebro y de esa forma es percibido. En otros peces, en cambio, hay una sola abertura de cada lado. Puede existir también un repliegue epitelial en forma de pabellón que permite captar mejor los olores.

Gusto

Radica en los llamados botones gustativos que son células sensibles a ciertas sustancias químicas relacionadas con los alimentos, que están distribuidos en el interior de la boca, faringe, esófago y epitelio bucal.

Audición y equilibrio

El oído es a la vez el órgano del equilibrio. No hay oído externo ni medio, solo interno. Existe una serie de canales que contienen endolinfa. Cuando el pez se mueve este líquido lo denota y lo transmite al S.N., regulando la posición si fuese necesario. Por otra parte en el utrículo hay otolitos (concreciones calcáreas que también sirven para saber la edad de los peces) que están rodeados de "pelos" sensibles, y según se apoyen los otolitos en unos u otros pelos el pez advierte si esta derecho o inclinado. En el sáculo hay dos otolitos mas que están conectados con el nervio auditivo, encargado de recoger vibraciones sonoras.

ANATOMÍA INTERNA

Aparato respiratorio

El opérculo es la cubierta ósea que tapa las branquias o "agallas". Por medio de las branquias respiran los peces, las que están formadas por un fino epitelio muy sensible a las características del agua (materias en suspensión, pH), falta de vitaminas y presencia de agentes biológicos (parásitos, bacterias, hongos).

El intercambio entre el O₂ y el CO₂ de la sangre se produce a nivel de las laminillas branquiales. Durante el proceso respiratorio el pez mantiene los opérculos cerrados, abre la boca, el agua entra por succión y se llena la cavidad bucal. Luego cierra la boca y el agua pasa por una amplia abertura branquial saliendo al exterior a través de los opérculos. La circulación de la sangre es en contracorriente con respecto a la del agua, logrando así que el intercambio de gases sea de hasta aproximadamente el 80 %; de lo contrario solo sería del 50 %. La frecuencia respiratoria dependerá del estrés, contenido de oxígeno disuelto del agua, nivel de metabolismo, temperatura, etc. Las branquias además de participar en la respiración también participan en la regulación de sales y agua entre el pez y el medio acuático.

El CO₂ es un gas altamente hidrosoluble de modo que se libera fácilmente por las branquias. El intercambio gaseoso tiene lugar en las laminillas secundarias. En comparación con los animales de respiración aérea, el gasto energético es muy alto, especialmente cuando el O₂ es bajo, cuando el agua se presenta contaminada y en momentos de temperaturas elevadas. En las laminillas secundarias se encuentran linfocitos, fagocitos, eosinófilos y en los peces eurihalinos hay células pálidas de secreción salina. En los peces planctónicos existen las branquiespinas que sirven para retener el plancton. Hay una relación estrecha entre tamaño y número de branquiespinas y dieta del pez.

SISTEMA DIGESTIVO

Boca

Algunos peces no tienen dientes o si los tienen son muy pequeños, como en el caso de los planctófagos o fitófagos. Los dientes pueden ser vomerianos (en el paladar superior), maxilares, pueden estar ubicados en la lengua o en la faringe (misión trituradora). Estos últimos se encuentran en el quinto arco branquial modificado que carece de branquias, como en el caso de la carpa común (*Cyprinus carpio*) y de la carpa herbívora o "sogyo" (*Ctenopharyngodon idella*). Los dientes están concebidos mas para la captura de los alimentos que para la masticación y están mucho más desarrollados en el caso de los animales ictiófagos como el dorado (*Salminus maxillosus*) y la tararira (*Hoplias malabaricus*). En estos peces predadores la boca es terminal y de gran tamaño. No presentan glándulas salivales, si en cambio glándulas mucosas.

Faringe y esófago

La faringe actúa fundamentalmente como filtro evitando que pasen las partículas del agua a los delicados filamentos branquiales, participando de en este acto también los rastrillos branquiales. El esófago comunica la faringe con estómago, siendo generalmente de paredes gruesas, lo que le permite distenderse para el pasaje de presas o de alimento.

Estómago

Es de distinta forma y tamaño según la especie. En las especies predatoras o carnívoras es amplio y con paredes distendibles que le permite dilatarse para facilitar la entrada de grandes presas. La salida del estómago al intestino esta limitada por el píloro. En los salmónidos, el alimento en el estómago se desmenuza realmente por acción de ácidos, enzimas digestivas (como la pepsina que digiere en parte las proteínas) y por acción trituradora de las paredes del estómago. Alrededor del estómago hay una serie de estructuras que conforman los ciegos pilóricos, los que se hallan rodeados generalmente por tejido adiposo blanco, salvo en situaciones de ayuno. Siempre hablando de salmónidos, dentro de ese tejido adiposo se encuentra el páncreas. La función que cumplen los ciegos pilóricos es absorbente y de neutralización de acidez, creando mayor espacio adicional para la digestión. En otras especies como en el caso de los *Acantinopterigios* (pejerrey), el páncreas esta disperso en el hígado constituyendo el hepatopáncreas.

Intestino

Las enzimas desdoblan las grasas, proteínas y azúcares que luego de atravesar la pared intestinal son llevados al hígado. El resto de alimentos como fibras, restos de caracoles, etc., se evacuan junto con las heces. El largo del intestino es variable, siendo corto en los depredadores y muy largo en los fitófagos.

El alimento utilizado en la forma de balanceado comercial tiene alta cantidad de proteína (en algunos casos superior al 40%) y alta cantidad de energía (dada principalmente por lípidos). En general un coeficiente de conversión bueno es de alrededor de 1,2 - 1,4:1. El exceso de grasa es utilizado como energía y se almacena principalmente en músculo. El tiempo que tarde en recorrer el alimento el tubo digestivo puede variar desde unas pocas horas hasta días, dependiendo de los distintos procesos metabólicos que están dados principalmente por la temperatura, ya que a mayor temperatura se aceleran.

Hígado

Es la principal fábrica del organismo interviniendo en distintos procesos metabólicos. Es blando, de color pardo rojizo y muy voluminoso, presentando en ocasiones de color rosa – crema, situación que no siempre indica un cuadro patológico. El hígado suele sufrir de infiltración grasa debido a ingestión de alimentos en mal estado o en casos de sobrealimentación.

La vesícula biliar está bien desarrollada. El colédoco vierte en la primera porción del intestino delgado la bilis, que emulsiona las grasas para que sean fácilmente atacadas por las lipasas pancreáticas. Por su parte el páncreas segrega amilasas, tripsina y quimiotripsina. El conducto pancreático vierte casi siempre en el colédoco.

SISTEMA EXCRETOR

El riñón es una formación pardo-negrucza que se extiende en la parte superior del abdomen desde la cabeza hasta el ano, hacia ventral de la columna vertebral y dorsal de la vejiga gaseosa. En algunos peces, como en la trucha, al principio es un órgano par y luego, en el adulto, se transforma en impar. Es el principal filtro del organismo. Filtra la sangre a través de los glomérulos y la conduce por tubos a conductos pares, los uréteres, que la llevan a la vejiga que se encuentra por encima del ano. El conducto de la vejiga vierte a través de la abertura urogenital, que sirve también para la expulsión de las ovas.

La excreción se basa fundamentalmente en:

- ◆ Filtración: Dada principalmente por diferencias de presión y por diferencias de P.M.
- ◆ Reabsorción: Recuperación de sustancias no desechables.
- ◆ Secreción: Expulsión de sustancias tóxicas que se encuentran en concentraciones excesivas.

Los peces excretan casi todo el nitrógeno en forma de amoníaco (90 %). Solo una pequeña parte (10 %) sale en forma de urea. El principal órgano excretor del amoníaco son las branquias. El agua dulce tiene una concentración de sales menor que la del pez, por lo que tiende a penetrar en el organismo (a través de las branquias y faringe principalmente). El riñón debe eliminar el agua en exceso produciendo orina diluida, mientras que en las branquias se recuperan sales en forma activa (las branquias también juegan un rol importante en la osmorregulación). En agua de mar ocurre lo contrario, y los peces la tienden a eliminar sales por medio de las branquias, produciendo orina en pequeñas cantidades.

Otra de las funciones del riñón es la hematopoyesis, función que se cumple principalmente en el extremo anterior del riñón. Otro lugar donde se producen estas células es en el bazo.

SISTEMA CIRCULATORIO

La circulación en los peces tiene las características de ser simple, ya que pasa una sola vez por el corazón, y cerrada, porque no sale de los vasos. Por el corazón siempre circula sangre impura (no oxigenada) o venosa.

El corazón consta de dos cavidades, una anterior, la aurícula y una posterior, el ventrículo. Este último de forma triangular y muy musculoso, que le permite proporcionar la presión principal al interior de una estructura blanca, el cono arterioso, que actúa como equilibrador de presión elástica, convirtiendo el impulso del corazón en una oleada uniforme de sangre hacia las branquias, de donde a su vez, pasa al resto del organismo para proporcionar oxígeno a los tejidos. Una vez que pasa a través de las branquias la presión se reduce fuertemente y su paso a través de los tejidos es relativamente lenta. En los capilares el O₂ es intercambiado por el CO₂ y productos de desecho. La sangre finalmente vuelve al corazón por medio de la vena cava o principal, que pasa a través de los riñones.

Cuando la sangre pasa por los capilares, cierta cantidad de líquido (linfa), se pierde por los tejidos. Esa linfa es el líquido acuoso que se desprende de un filete de pez fresco. Esta linfa vuelve a la circulación mediante una serie de vasos linfáticos, que vierten a la corriente sanguínea antes del corazón. En algunos peces, como en el caso de las truchas, el volumen de la linfa es bastante superior al de la sangre.

5.2. GENERALIDADES DEL METABOLISMO DE LOS POIQUILOTERMOS

El principal objetivo de la producción animal es lograr el aumento de peso de los animales en el menor tiempo posible y en condiciones económicas ventajosas. Los requisitos previos para lograr esta meta son cubrir satisfactoriamente todas las necesidades metabólicas del organismo, brindar condiciones ambientales óptimas y ofrecer una completa alimentación basada en piensos adecuados.

El metabolismo puede dividirse en metabolismo externo (sustancias ingresadas y excretadas por el animal) y el metabolismo interno (transformaciones que tienen lugar en el seno del cuerpo mismo). La conservación de la energía tiene plena validez con estos procesos fisiológicos. Conforme a las leyes de la termodinámica, la transformación de una forma de energía en otra siempre origina un incremento de la entropía, o sea la pérdida de energía como calor. Las transformaciones de la energía del alimento que se realizan en el metabolismo interno se relacionan de manera escalonada por medio de procesos catalíticos con una mínima pérdida posible de calor, sin embargo esta última no puede ser eliminada por completo.

En animales endotermos (homeotermos), que obtienen la temperatura corporal de su propia actividad metabólica, el calor producido por la oxidación del alimento (ya sea por medio de un incremento de la entropía o debido a la utilización de energía libre en procesos de mantenimiento, de los cuales el resultado final es calor), se utiliza, por lo menos en parte, para calentar el cuerpo.

La situación cambia en los poiquilotermos (ectotermos), incluyendo los peces, que obtienen su calor del medio y no son capaces de mantener la temperatura corporal muy diferente a la que impera en el medio acuático. En este caso, el calor producido por la actividad metabólica simplemente se pierde, de modo que la porción no utilizada de la energía del alimento que se convierte en incremento de calor, debe considerarse un gasto inevitable en el consumo de energía.

Es decir que los peces son organismos que dependen en buena medida de la temperatura de su entorno, no existiendo diferencias evidentes entre peces de agua dulce. Por ello, no es necesaria ninguna energía especial para mantener la temperatura corporal como sucede en los homeotermos. Solo puede presentarse un leve sobrecalentamiento merced a movimientos intensos de corta duración, menos de 1° C en músculos y todavía mucho menos en cavidades orgánicas como estomago o intestino. Este hecho requiere particular atención, debiendo considerarse como una de las ventajas comparativas más importantes de la producción piscícola.

La temperatura del agua, como vemos, es un aspecto fundamental dentro de fisiología de los peces poiquilotermos. El incremento de la misma aumenta el metabolismo y en consecuencia los requerimientos energéticos de los animales, los que se deberán satisfacer mediante el consumo de materia orgánica del medio natural o mediante el agregado de alimentos adicionales en el caso de cultivos controlados. También influye en la reproducción, supervivencia de estadios larvales e inmunidad entre otros aspectos. Sin embargo, el efecto es variable entre una especie y otra; así para la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) cuya temperatura óptima es de 15° C, temperaturas superiores a 20° C, que por otra parte son buena para ciprínidos (carpas), pueden ser críticas o letales.

Un aumento de 10° C produce que las tasas de reacciones químicas y biológicas aumenten el doble o el triple. Por lo tanto, los peces consumirán 2 a 3 veces más oxígeno a 30° C que a 20° C. Por dicha razón y en líneas generales los requerimientos de oxígeno son mas críticos en peces de aguas cálidas que frías. El incremento de la

tasa de consumo de O₂ causado por el aumento de 10° C de la temperatura se llama Q₁₀ que según la ley de Van't Hoff se utiliza para expresar el efecto de la temperatura sobre diversos procesos químicos y físicos:

$$Q_{10} = (L_1 / L_2) (10 / t_1 - t_2), \text{ donde}$$

L₁ = rapidez del proceso a la temperatura t₁ y L₂ = rapidez del proceso a la temperatura t₂.

Por lo tanto, Q₁₀ expresa el incremento relativo en la rapidez del proceso al aumentar en 10° C la temperatura, que para muchos procesos bioquímicos es aproximadamente igual a 2, lo cual significa que con un incremento de 10° C dichos procesos se duplican.

La relación entre la temperatura y el consumo de O₂ se presenta de la siguiente manera, siempre que los peces tengan tiempo suficiente para la acomodación:

- ◆ El consumo de O₂ se incrementa proporcionalmente con la temperatura según lo predice la ley de Van't Hoff, hasta alcanzar una tasa máxima.
- ◆ La tasa de consumo mas alta se mantiene en un intervalo pequeño de temperatura
- ◆ El consumo después de la tasa máxima disminuye rápidamente, conforme la temperatura se continúa incrementando.
- ◆ Finalmente ocurre una temperatura letal.

La temperatura, la luz, el alimento y la concentración de oxígeno afectan el grado y el patrón de actividad. Dicha actividad está determinada por la disponibilidad de energía metabólica por arriba de la ya destinada al metabolismo para mantenimiento. El metabolismo de actividad no sigue obligadamente por la acción de la temperatura el mismo curso que el metabolismo basal. La diferencia entre el metabolismo de actividad y basal refleja el consumo de oxígeno disponible para la actividad de los peces (zona de actividad), es decir que, deduciendo la cantidad de energía (o consumo de oxígeno) dirigida a mantenimiento sin movimiento (metabolismo estándar), la diferencia, cuando el pez nada, puede adjudicarse a la mecánica de propulsión; la energía disponible es igual a campo de actividad.

En la trucha arco iris, aumenta el metabolismo basal continuamente desde 5 hasta 25° C, mientras que el metabolismo de actividad se estaciona o disminuye en la zona de 15-25° C (cuadro 2), lo que debe considerarse como indicio de la cantidad presente de oxígeno para cubrir convenientemente las necesidades aumentadas, mas aún sabiendo que el oxígeno se comporta de manera inversamente proporcional a la temperatura del agua.

Cuadro 2. Consumo de Oxígeno (mg O₂/kg/h) para truchas arco iris (200-400 g de peso individual) en la zona térmica de 5-25° C.

Temperatura del agua (°C)	Metabolismo basal	Metabolismo de actividad (natación 0,5-1,6 m/s)	Zona de actividad
5	36	384	348
10	42	468	426
15	78	576	498
20	84	570	486
25	138	478	336

Los organismos acuáticos se pueden clasificar según su tolerancia a la temperatura en euritermos y estenotermos, de amplio y estrecho intervalo de temperatura respectivamente. La tolerancia a las diferentes temperaturas máximas y mínimas varía según las especies. En función de ello, y siempre que los cambios de temperatura se realicen en forma gradual, se pueden agrupar en:

- a) De aguas frías: estenotérmicos, resisten pequeños intervalos de temperatura, usualmente de 4 hasta 15° C, como la mayoría de los salmónidos (salmones y truchas). Es especial la trucha arco iris (*O. mykiss*), mejorada genéticamente para cría intensiva, que esta adaptada para resistir cortos periodos a temperaturas mayores a 20° C.
- b) De aguas cálidas, euritérmicos, resisten intervalos de temperaturas de 6 a mas de 30° C. Se incluyen aquí las especies de mayor producción mundial en piscicultura como la carpa (*C. carpio*), carpa plateada (*Aristichthys nobilis*), carpa herbívora (*C. idella*), catfish o bagre del canal (*Ictalurus punctatus*) y tilapias (*Oreochromis* sp.).
- c) De aguas tropicales, estenotérmicos, resisten intervalos que van de 25 a 35° C como algunas especies de la ictiofauna de América Central y del Sur, como la cachama (*Colossoma* sp.).

Otra variable a considerar en el metabolismo de los peces es el contenido de oxígeno disuelto en el agua. En organismos en movimientos, la actividad metabólica aumenta con el contenido de oxígeno del agua y a la inversa disminuye al descender dicha tasa de oxígeno. Una baja de O₂ no significa la atenuación del metabolismo en si

mismo, sino que obedece a una limitación de la actividad del pez. Para los salmónidos, una de las familias que más demandan oxígeno, el punto crítico suele ser muy elevado, de manera que en dichos peces existe también dependencia respiratoria en las proximidades del valor de saturación. Superada dicha zona comienza la zona de resistencia en la que se presenta la muerte por asfixia y en donde el pez previamente intenta satisfacer sus necesidades de oxígeno aumentando la profundidad o el número de los movimientos respiratorios.

La talla de los peces también se relaciona con el metabolismo, aunque no así con la edad de los mismos. Se toma como criterio la actividad metabólica referida a la unidad de peso, pues a medida que aumenta el tamaño del cuerpo, disminuye considerablemente la tasa metabólica. En general, la relación que existe entre el metabolismo y el peso de la pieza se expresa por:

$$Q = A p^k, \text{ (de manera aproximada } Q = A p^{0.67}\text{), o expresado en términos de logaritmos:}$$

$\log Q = \log A + k \log p$, donde Q significa el metabolismo total del organismo estudiado (medido en función del consumo de oxígeno en mg de O_2/h), A es un coeficiente que corresponde al metabolismo total de un animal con la unidad de peso (1 g), p representa el peso de la pieza en g y k una constante que expresa la variación de la tasa metabólica en función del peso de la pieza. Si k fuera 1, el metabolismo y el peso del ejemplar serían directamente proporcionales; sin embargo, k se mantiene por lo común entre 0,75 y 0,85, con lo que se establece una relación inversa entre metabolismo y peso.

Tras varias recopilaciones de numerosas investigaciones, se puede concluir que la tasa metabólica de rutina de los peces de agua dulce y salada (sobre la base del consumo de O_2 en mg/h a 20° C) es:

$$Q = 0,4 p^{0.8}, \text{ o bien:}$$

$$\log Q = 0,8 \log p - 0,3904$$

Esto significa que la tasa metabólica se reduce en un 21 % cuando el aumento del peso es de 10 veces, o que la tasa metabólica disminuye 90 % cuando el peso de los ejemplares pasa de 10 mg a 1 kg (cuadro 3).

Cuadro 3. Cifras de consumo diario de energía en peces de diferente talla para metabolismo de rutina a 20° C.

Peso de los peces	Consumo de Energía
1 mg	600
10 mg	380
100 mg	2353
1 g	150
10 g	100
100 g	60
1 kg	38

5.3. CRECIMIENTO DE LOS PECES

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de los peces depende de diversos factores, entre los cuales el tamaño de la ración, el peso corporal y la temperatura son de especial importancia en sistemas de cría intensiva. Cuando el alimento es insuficiente tanto para el mantenimiento como para el crecimiento, este último se inhibe por completo. Por el contrario se puede lograr un alto crecimiento con abundante alimento, pero según el aprovechamiento de este, será más redituable la explotación (cuadro 4). El crecimiento es máximo con alimentación a saciedad o ad libitum, aunque el índice de conversión puede disminuir, por lo que la tasa de alimentación óptima estará determinada por la eficiencia económica, considerando tanto el costo del alimento como el valor de biomasa de los peces, recordando que en acuicultura el alimento tiene un costo elevado.

Cuadro 4. Efecto de la tasa de ingestión en el crecimiento e índice de conversión de la lubina europea.

Cantidad alimento	Ad libitum	80 %	60 %	40 %
Tasa de alimentación (%/kg/d)	2,94	2,36	1,79	1,22
Tasa de crecimiento (%/d)	1,35	1,25	1,08	0,73
Índice de conversión	2,27	1,96	1,70	1,69

El crecimiento también depende del tamaño corporal (peso). El peso o la longitud del cuerpo son los principales parámetros por medio de los cuales los piscicultores determinan el nivel de alimentación óptimo. En un conjunto de condiciones ambientales dadas, el crecimiento potencial depende del peso del pez. El crecimiento es muy rápido en las fases de desarrollo de larvas y juveniles, en donde llega a ser superior al 30 % del peso del alevín por día, para decrecer a medida que el pez aumenta de peso, de modo tal que un pez de 1 kg por lo general crece menos del 1 % diario.

Así, de experiencias realizadas en truchas arco iris cultivadas a 12° C y en condiciones en que el alimento no limitaba el crecimiento, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$P \text{ max (g/día): } 0,079 P^{0,662}, \text{ donde } P \text{ es igual al peso.}$$

De esta ecuación se puede deducir lo expuesto anteriormente: a medida que es mayor el peso del individuo, menor es la ganancia de peso expresada como %.

Además de depender del alimento y del peso de los peces, el crecimiento también es función de otros factores que suelen interactuar con ellos, los cuales se dividen en dos grupos principales:

- a) Relacionados al pez (factores internos)
- b) Factores ambientales (externos)

A) FACTORES RELACIONADOS A LOS PECES

Características genéticas

La endogamia produce degeneración morfológica y reduce el crecimiento, mientras que el cruzamiento de genotipos distintos en muchos casos da por resultado heterosis, con un mejor crecimiento de la descendencia que cualquiera de los padres.

En la carpa común se encontró un vínculo estrecho entre el crecimiento y la cantidad de escamas. El genotipo sin escamas (carpas de piel) presentó menor crecimiento que los genotipos totalmente cubiertos de escamas o con cobertura limitada de estas (carpa espejo).

Sexo

Para algunas especies como la tilapia, el macho crece más rápido que la hembra, mientras que lo contrario sucede con la carpa común.

Estado fisiológico

El estado fisiológico y sanitario influyen considerablemente en el crecimiento de los peces. Así, peces parasitados o con trastornos fisiológicos originados por causas ambientales como anoxia o envenenamiento retardan el crecimiento. Lo mismo ocurre con desequilibrios causados por factores sociales como dominancia o lucha territorial (de allí que se hagan periódicas clasificaciones de los ejemplares en función de su talla) y presencia de peces de otras especies. Se establece una relación de jerarquía de tamaño, en donde se comprobó que cuando se retiraban alevines de trucha café grandes, los más pequeños presentaban un mayor grado de crecimiento específico, que se volvía a retrasar al reingresar nuevos alevines grandes, es decir que el crecimiento específico del individuo depende de su posición en orden de peso decreciente.

Durante la maduración gonadal, en muchos peces (como la carpa) se inhibe o incluso se suspende temporalmente el crecimiento. Las gónadas desarrolladas pueden representar más del 20 % del peso del pez, e incluso llegar a superar el 30 %. El material para estos órganos se extrae del alimento, de tejidos somáticos o de ambos. De este modo el desarrollo temprano y frecuente de las gónadas es una gran desventaja y debe evitarse. Por esta razón el estudio del metabolismo y la nutrición de los peces en estanque se suele limitar a peces que no estén sexualmente maduros y cuyas gónadas no se desarrollen en el periodo de cultivo.

5.3.2 CONDICIONES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO

Los principales factores ambientales son la temperatura, la luz, constituyentes químicos del agua, concentración de oxígeno y presencia de catabolitos. De ellos, los dos últimos se relacionan con la biomasa de peces presentes en estanques.

TEMPERATURA

Como se ha mencionado, en los ectotermos el crecimiento es afectado por la temperatura, aumentando hasta un valor óptimo para luego disminuir hasta la temperatura letal superior. El efecto de la temperatura (o de la luz) en el crecimiento puede ser mediado por acción de hormonas como la somatropina (producida por la hipófisis) y la tiroxina (tiroideas) que participan en el metabolismo y según algunos autores en el crecimiento. Se ha demostrado que la máxima actividad para la trucha marrón (*Salmo trutta*) de 3 años de edad, correspondió a la mitad del verano con temperaturas de 12 a 15° C.

Una interacción muy estudiada es la existente entre temperatura y cantidad de alimento. El incremento del crecimiento solo se da si es acompañado por un aumento del consumo del alimento, aunque se ha observado en algunas especies que a medida que aumenta el peso de los peces se reducía el efecto de la temperatura sobre el crecimiento.

Para *S. trutta* el crecimiento relativo específico (expresado como % del peso corporal al día) alimentadas con raciones máximas aumentó con temperaturas de 3,8 a 12,8° C. El crecimiento máximo se logró entre 12,8 y 13,6° C, para finalmente decaer hasta 19,5° C; temperaturas similares se han observado para otros salmónidos. Para peces de aguas cálidas el máximo intervalo se da entre 28 y 30° C.

FOTOPERÍODO

Las variaciones cíclicas y estacionales en el crecimiento son reguladas por el periodo de luz, que interactúa de alguna medida con la temperatura; incluso se ha demostrado en distintas experiencias que influye más que esta última, observándose que el crecimiento era mayor en fotoperíodos más largos, al parecer por un mayor consumo de alimento y mejor conversión del mismo. En peces mantenidos a temperatura constantes (11,5° C), los valores de crecimiento específico fueron significativamente diferentes con 12 horas de luz que con 6 horas.

CALIDAD DEL AGUA

El pH extremo (por debajo de 6,5 y por encima de 9,0) reduce el crecimiento en la mayoría de los peces. Al igual, cambios más allá del intervalo de tolerancia de salinidad para peces estenohalinos y eurihalinos afectan en gran medida el crecimiento. La carpa común con un límite de salinidad de 11,5 g/l crece menos a medida que la salinidad aumenta por encima de 5 g/l. Algunas especies de tilapias crecen mejor en agua salobre, y su crecimiento disminuye al aumentar o disminuir la salinidad. La trucha arco iris crece mejor en agua de mar que en agua dulce.

CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO

Se relaciona con el consumo de los alimentos y con el mejor aprovechamiento de éstos. En distintas experiencias *ad libitum* realizadas con diferentes especies, se demostró que el crecimiento disminuyó a medida que el oxígeno se redujo a concentraciones por debajo del nivel de saturación. En primer lugar se afecta el consumo, pero si el descenso de la concentración de oxígeno continúa, también se altera la conversión del alimento. Existen muchas variaciones según las especies; en bagres del canal (*I. punctatus*) mantenidos a concentraciones de oxígeno de 100, 60 y 36 %, las ganancias promedios fueron de 159, 124 y 65 g.

AGENTES TÓXICOS Y CATABOLITOS

La presencia de agentes tóxicos (comúnmente externos) y la acción de catabolitos propios de los peces, también puede afectar el crecimiento. Los catabolitos aumentan a medida que la biomasa de los peces del estanque se incrementa, de los cuales el NH₃ se comporta como el más tóxico, por lo cual la tasa de renovación y dilución del agua juegan aquí un rol muy importante.

5.3.3. EFECTO DEL ESTRÉS SOBRE EL CRECIMIENTO DE LOS PECES

Algunas respuestas secundarias observadas durante el estrés de los peces reflejan un aumento del catabolismo. Se produce un incremento de los niveles de glucosa en el plasma, un aumento del flujo sanguíneo branquial y del ritmo cardíaco, así como de la afinidad de los eritrocitos por el oxígeno, disminuyendo el glucógeno hepático. Un desplazamiento del anabolismo hacia el catabolismo con movilización rápida de reservas es una estrategia positiva a corto plazo por cuanto permite disponer de energía para hacer frente a situaciones de estrés. Si la situación perdura, afecta la utilización de energía para crecimiento.

Además de los efectos catabólicos de catecolaminas y corticosteroides, existen otros múltiples factores que se relacionan con el proceso de crecimiento que podría ser afectados por el estrés. Así, se ha podido observar una disminución de la ingesta en animales estresados, disminución de la actividad tiroidea, variaciones de los niveles de hormonas esteroideas relacionadas con la reproducción, así como cambios en la viabilidad de los gametos. Las principales causas de estrés se describen en la cuadro 5.

Cuadro 5. Principales causas de estrés en los peces de cultivo.

Ambiente	Alimentación	Manejo
Cambios de T °C, salinidad y O ₂ Productos nitrogenados Niveles extremos de pH Presencia de contaminantes Velocidad del agua	Tamaño de la ración Calidad proteica y lipídica Nivel y equilibrio de minerales Vitaminas y factores antinutricionales Sistemas de administración	Captura Anestesia Clasificación Carga Administración de tratamientos

5.3.4. DETERMINACIÓN DEL CRECIMIENTO DE LOS PECES

Relación Longitud - Peso

El crecimiento de los peces se puede expresar en peso y/o longitud. Esta última es mas fácil de medir y se ve menos afectada por factores estacionales. Lo mas usual es medir longitudes y luego transformarlas en peso a través de la relación longitud – peso, que describe una curva exponencial. Normalmente se utiliza la expresión:

$$W_{(i)} \text{ (peso)} = a L_{(i)}^b,$$

donde W(i) es el peso corporal del iésimo pez, L(i) es la talla o longitud y a y b son dos constantes. Esta relación puede transformarse en una ecuación lineal tomando logaritmos a ambos lados de la ecuación:

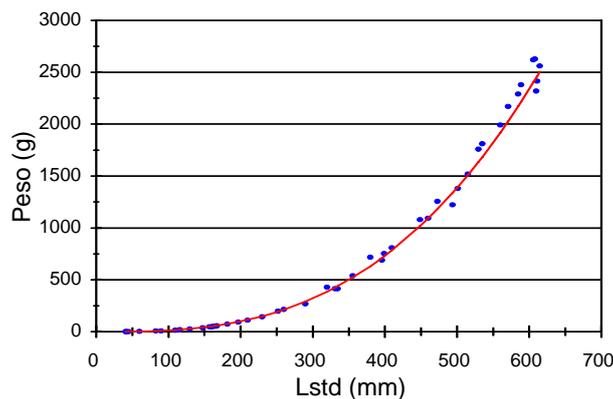
$$\ln W_{(i)} = \ln a + b * \ln L_{(i)}$$

Tomando como base de datos la cuadro 6, calculamos $a = 0,0000261$ y $b = 2,862$, por lo tanto nos queda:

$$W_{(i)} = 2,61E-0,5 Lstd^{2,862},$$

con lo cual podemos construir la curva de la figura 2.

Figura 2. Relación Lstd – peso basada en datos de la cuadro 5-1.



El peso de un pez (expresado en gramos) es aproximadamente igual a su volumen (en centímetros cúbicos) y su volumen suele ser proporcional a su largo al cubo o a una potencia muy próxima a esta, L^3 . Es posible esperar entonces que el valor de b se acerque a 3. Si bien a puede variar a lo largo del año, b es mas o menos constante, su valor oscila entre 2,4 y 4, pero como se mencionó anteriormente, se suele tomar que $b = 3$, es decir el crecimiento en longitud es proporcional al volumen (crecimiento isométrico), si b es $\neq 3$ se dice que es alométrico.

Cuadro 6. Longitud estándar y peso de los peces para el cálculo de la relación Lstd – peso.

n	Lstd (mm)	Peso (g)	n	Lst (mm)	Peso (g)
1	41	1,2	25	331	414,9
2	42	1,4	26	335	415,7
3	45	2,2	27	356	538,6
4	60	3	28	380	718,8
5	83	7,5	29	396	690,5
6	90	8,9	30	399	754
7	110	16,2	31	410	810,2
8	116	20	32	449	1080
9	130	26,2	33	460	1095
10	148	39	34	473	1255,8
11	157	47,1	35	494	1224,7
12	160	46,2	36	501	1380,3
13	162	52,4	37	515	1519,7
14	165	52,3	38	530	1760,8
15	167	57,9	39	535	1810,9
16	167	54,2	40	560	1991,5
17	182	75,2	41	571	2170,4
18	197	93,9	42	585	2290,3
19	210	111,6	43	589	2380,4
20	230	145,3	44	606	2620,1
21	252	198,5	45	608	2630,5
22	260	215,3	46	610	2320,3
23	290	269,8	47	611	2416,2
24	320	428,1	48	615	2561,3

El crecimiento de un pez está directamente relacionado con su ambiente. Esta relación puede variar dentro de una misma área, con el tiempo y de un ejemplar a otro. El estudio del crecimiento de los peces a nivel de pesquerías, significa básicamente determinar el tamaño corporal, y en ocasiones también el peso, en función de la edad. En pesquerías naturales, los métodos de evaluación de poblaciones trabajan esencialmente con datos de composición por edades. En general estos datos pueden obtenerse mediante el recuento de anillos que representan la edad en partes duras como escamas y otolitos. Por su parte, en sistemas de cría intensiva, se utilizan determinadas ecuaciones para determinar el crecimiento (peso o longitud) hasta el tamaño de faena de los peces cultivados en función del tiempo de cría. Se detallan a continuación algunos métodos usados corrientemente para expresar el crecimiento.

ECUACIÓN DE VON BERTALANFFY

Es uno de los modelos clásicos que se utiliza en la mayoría de las especies de peces y se ha convertido en la actualidad en una de las piedras angulares de la biología pesquera. El modelo expresa la talla o longitud en función de la edad del pez:

$$L_{(t)} = L_{\infty} * [1 - \exp(-k*(t-t_0))],$$

donde $L_{(t)}$ es la longitud del pez a un tiempo determinado (t) , L_{∞} (llamado L infinito) es la talla media de un pez muy viejo ("infinitamente viejo"), llamada también longitud asintótica, t es la edad del pez, k es el parámetro de la curvatura, es decir la rapidez con la cual el pez alcanza la L_{∞} ; cuanto más bajo es k más aplanada es la curva y más tiempo necesita el pez para alcanzar la L_{∞} , y por último t_0 , parámetro de condición inicial, determina el punto en el tiempo en que el pez tiene una talla cero, si bien biológicamente esto no tiene mayor validez, ya que el crecimiento comienza a nivel larval, se puede hablar de ello cuando se establece que t es igual a 0 el día del nacimiento.

Estimar cada parámetro no es propósito de este trabajo, pero se puede ilustrar el uso del modelo con un ejemplo para una especie de aguas continentales en donde la longitud media de los peces es de 252, 391, 495, 567 y 603 mm para 1, 2, 3, 4 y 5 años respectivamente. De esto resulta:

$$L_{\infty} = 703,13, K = 0,384, t_0 = -0,158$$

Así, con la ecuación se puede calcular la talla de los peces a cualquier edad de stock en estudio; reemplazando los valores, queda:

$$L_{(t)} = 703,13 * [1 - \exp(-0,384 * (t - (-0,158)))]$$

De este modo, la talla y peso de los peces a determinada edad se ilustra en la cuadro 7 y en las figuras 3 y 4.

Cuadro 7. Longitudes calculadas según la ecuación de Von Bertalanffy.

Edad (años)	L std (mm)
0,5	157,0
1,0	252,4
1,5	331,1
2,0	396,1
2,5	449,7
3,0	494,0
3,5	530,5
4	560,7
4,5	585,6
5	606,1

Figura 3. Representación gráfica de la curva de crecimiento en longitud según la ecuación de Von Bertalanffy

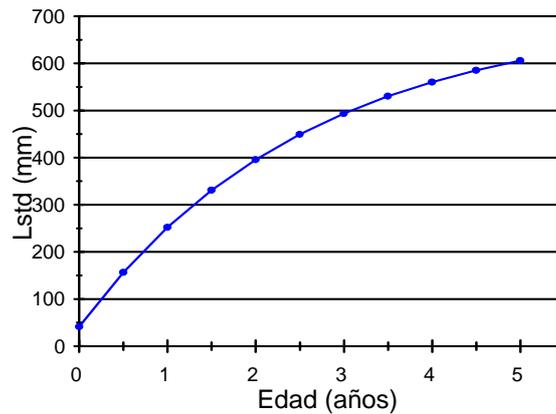
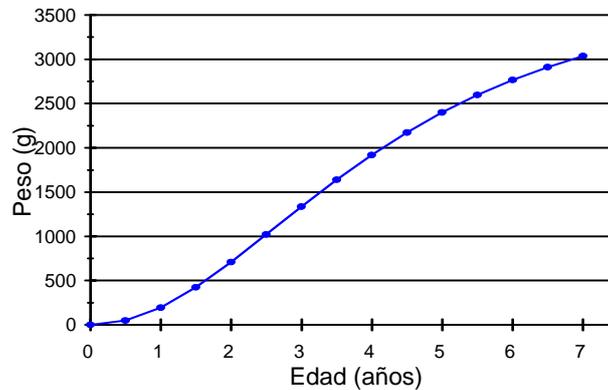


Figura 4. Representación gráfica de la curva de crecimiento en peso según la ecuación de Von Bertalanffy



Generalmente los parámetros biológicos de los peces varían en los ambientes, en diferentes épocas, localidades y poblaciones. Algunas formas de observar estas variaciones es a través de los análisis de relación largo - peso (ya observado) y de factores de condición. Uno de los factores de condición el factor K o de Fulton modificado:

$$K = P * 10^5 / Lstd^3, \text{ donde } P \text{ es el peso del pez en g y } Lstd \text{ es la longitud estándar en mm.}$$

Este índice es sencillo, no requiere del sacrificio del animal y sus resultados pueden registrarse de manera rutinaria en los distintos criaderos comerciales. Por otra parte, es adecuado para comparar ejemplares de la misma población y es útil para marcar diferencias debidas a condiciones ambientales, salud, lugar de captura, etc. Existen valores de referencia para determinadas especies, ya que cuanto más alto es el valor de K, mejor es la condición de los peces ("mas gordo es el animal"). Por el contrario, se ha podido determinar que disminuye de manera relativamente rápida ante situaciones de estrés. La desventaja de este factor es que presupone un crecimiento isométrico de peso como función de la longitud del individuo, razón por la cual valores de $b < 0 > a 3$, pueden producir "distorsiones" en los resultados. Otros autores proponen la utilización del índice de Le Cren:

$$Kn = P / P \text{ observado, donde } P \text{ observado surge de la relación } W = a L^b.$$

Como ya se ha expuesto, la predicción del crecimiento de los peces resulta imprescindible para establecer la necesidades nutritivas y las tasas de alimentación de una forma científica, pero además de ello, la determinación de la curva de crecimiento de una especie es fundamental para el diseño de las instalaciones (establecimiento de lotes, determinación del número de estanques) y planificación de la empresa (organización de clasificaciones, previsión de ventas).

El modelo de Von Bertalanffy, muchas veces no resulta aplicable a la producción intensiva debido a los relativos tamaños pequeños de venta de los peces y por tratarse más de un modelo descriptivo a partir de datos previamente recogidos. Un coeficiente de crecimiento utilizado es:

$$G = Ln (Wt / Wt - 1), \text{ donde } Wt \text{ y } Wt - 1 \text{ son los pesos finales e iniciales respectivamente.}$$

La evolución del peso de los peces en cortos periodos de tiempo puede ser descripta mediante una expresión exponencial del tipo:

$$Pf = Pi e^{ct},$$

donde Pi es el peso inicial, t es el tiempo y c la tasa de crecimiento, conocida también como TCI, tasa instantánea de crecimiento, utilizada por muchos investigadores en función del peso inicial, peso final y días de crecimiento, según la expresión

$$TCI = (Ln Pf - Ln Pi) / t.$$

La utilización de este modelo plantea el problema que los valores de TCI disminuyen a medida que aumenta el peso de los peces, subestimando el peso ganado y sobrestima la predicción de peso para pesos superiores al final utilizado. No obstante, el principal problema que plantea el modelo TCI es que no considera a los peces como animales poiquilotermos y por lo tanto su actividad trófica y crecimiento dependen directamente de la temperatura del agua. Por ello, se ha buscado una mejor predicción del crecimiento usando el índice denominado coeficiente de crecimiento térmico (CCT):

$$CCT = (Pf^{1/3} - Pi^{1/3}) / \text{suma grados día}$$

La ventaja de este modelo es que el valor de CCT es independiente del peso corporal, por lo que una vez que se dispone de información basada en datos reales de crecimiento para una especie, la predicción de la ganancia de peso en un periodo dado sería posible utilizando la expresión:

$$Pf = [Pi^{1/3} + (CCT * \text{suma grados día})]^3$$

Este modelo funciona lógicamente para el rango de temperaturas normales de cada especie y resulta necesario obtener valores de CCT para cada tipo de procedencia de los peces. Para la carpa común el rango de CCT calculado es de 0,95 - $1,57 * 10^{-3}$ con un valor medio de $1,40 * 10^{-3}$.

5.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS EXPLOTACIONES PISCÍCOLAS

Acuicultura. Tipos de cultivos

En acuicultura puede definirse productividad como la capacidad potencial de producción de un cuerpo de agua, bien sea en condiciones naturales (productividad básica) o sometido a determinados sistemas de cultivo o prácticas de manejo. La acuicultura se ocupa del cultivo de organismos acuáticos, vegetales y animales, mediante la aplicación de métodos y técnicas adecuadas. En particular, el cultivo de peces (piscicultura) se practica desde hace mucho tiempo. Dos mil años antes de la era cristiana ya existían en China leyes al respecto. En la antigüedad, esta biotécnica sólo se practicó en los medios continentales (agua dulce), con pocas especies ícticas y centralizada en los países asiáticos. Sin embargo, en las últimas décadas su diversificación ha sido intensa y la acuicultura se ha consolidado como una actividad económica de importancia en Asia, América Latina, América del Norte y Europa, alcanzando ya en 1994 un valor mundial de producción de 39.000 millones de dólares.

Cuadro 8. Principales diferencias entre sistemas de cultivo

Aspectos	Sistema extensivo	Sistema intensivo
Área de producción	Grande	Pequeña
Costos de inversión	Variables ⁽¹⁾	Altos
Costos de operación y manejo	Bajos	Altos
Cuidados y esfuerzos	Bajos	Altos
Densidad animal	Baja	Alta
Disponibilidad de alimentación natural	Alta	Baja a nula
Eficiencia	Baja	Alta
Facilidad de cosecha	Si	No
Gastos de alimentación	Bajos	Elevados
Gastos en sanidad	Nulos, inexistentes	Moderados, altos
Impacto ambiental	Bajo a inexistente	Moderado a alto
Ingresos por unidad de superficie	Bajos	Altos
Productividad	Baja	Alta
Riesgos asociados	Bajos	Altos
Velocidad de crecimiento	Baja	Alta
(1) Para el caso de utilización de lagunas, las inversiones son más elevadas cuando se las destina a pesca recreativa, siempre que se contemple la construcción de instalaciones y mejoras		

La piscicultura se puede clasificar de acuerdo con el tipo de producción, el grado de manejo y la tecnología aplicada, en extensiva, semi-intensiva, intensiva y superintensiva, aunque básicamente se diferencie la producción intensiva de la extensiva (cuadro 8). De acuerdo con el número de especies que se encuentren involucradas en el cultivo, se empleará el término monocultivo, en el caso del cultivo de una sola especie, y policultivo si se trata de dos o más especies. Si se complementa o combina con otras actividades agropecuarias se habla de cultivos integrados.

La piscicultura extensiva es la que se realiza con fines de repoblación y/o aprovechamiento de cuerpos de agua no construidos con este objetivo (embalses, estanques, lagunas), bien sean naturales o artificiales, dejando que los peces se desarrollen con el alimento natural que allí se produce. En este sistema de cultivo no se proporciona alimento suplementario y la cosecha se practica en el momento que se detectan animales de talla comercial. Las densidades a las cuales se siembran los organismos son bajas y la intervención del hombre se limita a la siembra y al aprovechamiento de estos organismos.

La piscicultura semi-intensiva se practica en forma similar a la extensiva, pero en este caso se usan estanques o reservorios construidos por el hombre para este fin. Las técnicas de manejo se limitan a la siembra de los peces, abonado y preparación del estanque en forma incipiente y esporádica. En ocasiones, si se suministra algún tipo de alimento, estará compuesto por desechos domésticos y residuos agrícolas. Cuando se suministra alimento concentrado es de bajo contenido proteico. Se emplean densidades un poco más altas que en el sistema anterior y se efectúa poco control sobre el cultivo. Con esta modalidad hay una mayor producción debido al suministro de alimento y al abonado.

La piscicultura intensiva se efectúa básicamente con fines comerciales y para ello se necesitan estanques técnicamente construidos con entradas y salidas de agua. Las cosechas y las siembras se llevan a cabo periódicamente, obedeciendo a una programación de la producción. Se realiza un control permanente de la calidad del agua y se practican abonados frecuentes con estiércol de animales y/o fertilizantes químicos. Se suministra

diariamente alimento concentrado con elevados niveles de proteína y se programa la densidad de siembra, la cual varía de acuerdo con la especie y el grado de explotación. Se aplica una mayor tecnología, cuya base está dada por los recambios de agua continuos y/o la aireación. En lagos, represas y embalses también se pueden llevar a cabo cultivos intensivos mediante la utilización de jaulas flotantes.

La piscicultura superintensiva, la cual se ha desarrollado en los últimos años como consecuencia de los avances tecnológicos, consiste en aprovechar al máximo la capacidad del agua y los estanques. La programación y la atención sobre el cultivo es total, utilizando el recambio de agua y aireación artificial, para obtener altas producciones. En ese sistema pierde importancia la producción natural y en consecuencia, se utilizan alimentos concentrados con alto contenido de proteínas (28 a 45%). El control permanente de los parámetros físicos y químicos del agua es fundamental para la obtención de las producciones esperadas, ya que se trabaja con elevadas densidades de siembra. Regularmente se realiza un control ictiopatólogico riguroso.

Como se señaló anteriormente, la actividad piscícola puede integrarse fácilmente a los procesos productivos ordinarios de la finca, mejorando notablemente el uso de los factores de producción.

EL PORQUE DE LA ACUICULTURA

Algunas de las ventajas con las que cuenta esta actividad son:

- ◆ Factibilidad de integrarse a otras actividades agropecuarias, revalorizando terrenos total o parcialmente improductivos.
- ◆ Facilidad de mercadeo, al aumentar la demanda de productos acuícolas.
- ◆ Mayor eficiencia de conversión de los peces con respecto a otros animales.
- ◆ Posibilidad de darle un valor agregado al producto cosechado.
- ◆ Incremento de la producción de proteína animal de elevado valor nutritivo y bajo costo.
- ◆ Manejo de especies con un gran número de crías.
- ◆ Menor gasto de energía por parte de los peces para regular la temperatura corporal (poiquiloterma)
- ◆ Bien encarada no produce efectos adversos en el ambiente
- ◆ Posibilidad de abastecer un producto de calidad controlada y de regular las fluctuaciones debidas a las variaciones de los precios.

Relación Acuicultura-Ganadería tradicional

Muchas veces es conveniente comparar a la acuicultura animal con la ganadería tradicional para clarificar algunos conceptos que relacionen las dos actividades. En la cuadro 9 se resumen la similitud entre dichas actividades.

Cuadro 9. Similitud entre acuicultura animal y ganadería

Parámetros	Acuicultura animal (Ganadería de aguas)	Ganadería tradicional
Especies animales	Peces, crustáceos, moluscos, etc.	Bovinos, porcinos, ovinos, etc.
Alimentación	Natural: plancton Artificial: alimento balanceado.	Natural: pastura Artificial: alimento balanceado
Sustrato	Agua	Suelo
Áreas de producción	Sala de incubación Estanques Jaulas Lagos, lagunas	Cabañas Galpones Corrales Potreros
Manejo y Tecnología aplicada	Genética: selección, hibridación Tratamientos preventivos de los animales. Aspectos sanitarios: tratamientos sanitarios del agua, de los estanques, de los animales. Reproducción: desove, alevinaje, cría, recría, etc.	Mejoramiento genético; cruzamientos Prevención sanitaria: vacunación, desparasitación. Tratamientos curativos de los animales: antibióticos. Reproducción: celo, cría, recría, invernada.
Niveles de explotación	Extensivo Semiextensivo Intensivo	Extensivo Semiextensivo Intensivo
Post-recolección	Faena y comercialización	Faena y comercialización

5.5. EL AMBIENTE ACUÁTICO

PRINCIPALES VARIABLES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA

En los ecosistemas acuáticos existe una interacción compleja de las variables físicas y químicas con los organismos vivos de la cual depende la eficiencia de los ecosistemas. Entre las principales se destacan:

VARIABLES FÍSICAS

Temperatura

Tiene relación directa con los procesos fisiológicos ya que los peces son poiquiloterms. Las diferentes especies tienen una temperatura óptima para crecimiento, reproducción, incubación de huevos, conversión de alimento, inmunidad.

Por otra parte, la temperatura tiene un efecto pronunciado en los procesos químicos y biológicos. Con un aumento de 10° C la tasa de reacciones bioquímicas aumenta, el pez consume más alimento, pero también consume más oxígeno. Esto hay que tenerlo presente, ya que la concentración de este gas en el agua es inversamente proporcional al aumento de temperatura, por lo que hay que hacer un correcto manejo de cada situación (cuadro 10). El metabolismo basal de los peces se incrementa normalmente a medida que aumenta la temperatura hasta el límite letal, siempre que los peces dispongan de tiempo suficiente para la correcta acomodación.

Cuadro 10. Valores de saturación (mg/l) para disolución del O₂ en agua pura a diferentes temperaturas, sobre una presión de 760 mm de Hg.

Temperatura (°C)	O ₂ disuelto (mg/l)
0	14.60
5	12.75
10	11.27
15	10.07
20	9.07
25	8.24
30	7.53

En la práctica se consideran temperaturas óptimas y letales. La tolerancia térmica depende de la adaptación, ya que los peces son capaces de adaptarse a temperaturas altas y bajas, pero solo si lo hacen de manera paulatina. La aclimatación ejerce una influencia sobre los límites térmicos superior e inferior de las diversas especies. Saltos bruscos de temperaturas, como por ejemplo en la carpa, de 25 a -10 °C en corto tiempo, provocan situaciones de shock que la pueden llevar a la muerte.

Salinidad

La salinidad es una medida de la concentración total de todos los iones disueltos en el agua y se expresa en mg/l o ppm. A una misma temperatura, cuando aumenta la salinidad disminuye la concentración de oxígeno disuelto.

Hay especies que son capaces de soportar variaciones en la salinidad, llamados eurihalinos, como el caso del pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) y la tilapia (*Sarotherodon mossambicus*), y otros que son relativamente intolerantes a los cambios de salinidad, llamados estenohalinos, como la carpa (*C. carpio*). Una clasificación usada para medir el grado de salinidad del agua se describe en el cuadro 11.

Cuadro 11. Clasificación del agua según concentración de sales.

Clasificación	g/litro
Agua pura o destilada	0
Agua dulce	< de 5
Agua semi dulce	5 a 20
Agua salada	20 a 40

En los peces de agua dulce, los líquidos interiores poseen una concentración de sales que es mayor a la del agua donde viven, por lo que si bebiesen agua en exceso se hincharían. Para contrarrestar este acopio de agua en el interior del cuerpo, los peces de agua dulce, producen una secreción abundante y diluida de orina.

Todo lo contrario sucede con los peces de agua salada, ya que los líquidos intracorporales son menos salados que los del medio exterior. Existe pues el peligro que el animal excrete agua por todo el cuerpo y se deshidrate. Es por ello que los peces de agua salada beben líquido en cantidad, eliminando las sales por las branquias y el tubo digestivo.

Turbidez

La turbidez es la propiedad del agua que se manifiesta por la reducción de su transparencia debida a la presencia de materias en suspensión, de sustancias coloidales o del plancton.

El principal efecto mecánico de las materias en suspensión es el daño a las branquias. La turbidez también disminuye el alimento disponible, reduce la penetración de luz y con ello la fotosíntesis y la producción primaria, interfiriendo en el funcionamiento de las redes tróficas de los sistemas naturales de producción. Por otra parte al sedimentar sobre las ovas disminuye el intercambio gaseoso, produciendo alevines sensibles, aunque mucho depende del tipo de partícula que esté presente. Las inundaciones pueden provocar concentraciones particularmente elevadas de materias en suspensión, debido a los grandes problemas de erosión que existen en la actualidad.

VARIABLES QUÍMICAS

Oxígeno

Su importancia es fundamental para la vida acuática. Se disuelve en el agua según la presión parcial en el aire (la que varía según el día o la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentre la estación de cultivo), coeficiente de solubilidad, contenido de sales y temperatura.

Dentro del proceso de oxigenación del agua, la ganancia de oxígeno se da por la realización de fotosíntesis del fitoplancton y por difusión desde el aire. La pérdida se produce por respiración del plancton, por difusión, respiración de peces y organismos del fondo (bentos) (cuadro 12).

El nivel de oxígeno limitante para los peces depende de las necesidades fisiológicas y metabólicas de cada especie. La mayoría toma oxígeno disuelto del agua, aunque hay otras especies que poseen adaptaciones que les permite obtenerlo de ambas formas.

La cantidad necesaria de este gas varía con las especies. Por ejemplo, para los salmónidos como la trucha Arco iris (*O. mykiss*) la concentración mínima es de unos 5,5 ppm y de 7 ppm para el normal desarrollo de las ovas. Los ciprínidos como la carpa pueden resistir concentraciones menores de 2 mg/l. El déficit de O₂ puede producir malformaciones, individuos anormales, falta de desarrollo o muerte.

Cuadro 12. Rangos de ganancias y pérdidas de oxígeno disuelto en estanques de hasta 1,5 m de profundidad con alta producción primaria.

Proceso	Rango (mg/l)
Ganancia	5 - 20
Fotosíntesis	1 - 5
Difusión	
Pérdida	5 - 15
Respiración del plancton	2 - 6
Respiración de los peces	1 - 3
Respiración de organismos del fondo	1 - 5
Difusión	

En ambientes naturales se debe tener cuidado con la fotosíntesis, porque en las horas nocturnas, al disminuir la actividad fotosintética por falta de luz, se reduce la cantidad de O₂. La hora en que la concentración de este gas es mínima generalmente es al amanecer.

Dióxido de Carbono

Es un gas muy soluble en el agua. El CO₂ en el agua no es un gas elemental, sino un compuesto que se forma a partir del ácido carbónico, el que se disocia en dos etapas, formando el sistema carbono-carbonatos, de gran importancia ecológica y muy relacionado con el pH.

El CO₂ reviste importancia por ser esencial para la fotosíntesis, por influir en el pH y por resultar tóxico para los peces en cantidades relativamente pequeñas. Su efecto se traduce en la disminución de la capacidad sanguínea

para asimilar el O₂. En concentraciones de 40-60 mg/l provoca intoxicación. Aunque existiesen los dos fenómenos (falta de O₂ y exceso de CO₂), la intoxicación prevalece por sobre la asfixia.

pH

La acidez o alcalinidad del agua u otros líquidos se mide por una escala que va de 0 a 14, llamada escala de pH (potencial hidrogeniónico) y expresa la concentración de hidrogeniones de una determinada sustancia. El pH puede variar por condiciones del suelo, compuestos tóxicos, o normalmente por procesos biológicos. De ellos el más importante es la fotosíntesis, en donde la toma de CO₂ durante el día da como resultado un aumento del pH en aguas poco alcalinas. La resistencia a cambios de pH varía con las distintas especies, pero todas tienen en común la intolerancia a cambios bruscos del mismo.

Cuando el agua presenta valores de pH bajos (6 o menos) o muy alcalinos (por encima de 9) los peces suelen tener serios trastornos, como necrosis de aletas y lóbulos branquiales, problemas en la reproducción, cambios de coloración, exceso de mucus cutáneo, falta de apetito, irritación y muchas veces los peces tienden a acercarse cerca de la superficie del agua.

Cuando el pH baja a valores cercanos a 5, pueden precipitar algunos metales y afectar al sistema respiratorio (branquias). Los peces de agua caliente pueden soportar un pH más alto, citándose valores de hasta 9.5 a 10 sin que se presenten problemas graves. Los valores de pH más adecuados para la producción de peces presentan un intervalo entre 6,5 y 9. Por debajo de pH 3 y por encima de pH 11 se produce lo que se conoce como punto de muerte ácida y alcalina respectivamente.

Alcalinidad

La concentración de carbonatos y bicarbonatos en el agua se presenta como alcalinidad. El pH bajo está relacionado con una baja alcalinidad y por lo tanto baja capacidad amortiguadora o buffer. Algunos autores afirman que mientras más baja es la alcalinidad, menor es la productividad y viceversa. La dureza total del agua se define a su vez como la concentración de iones metálicos divalentes (especialmente Ca y Mg) y se expresa en mg de carbonato de Calcio equivalente (cuadro 13).

Cuadro 13. Clasificación del agua según su grado de dureza.

mg/l de CO ₃ Ca	Categoría
0-175	Blanda
75-150	Moderadamente dura
150-300	Dura
+ de 300	Muy dura

Para el cultivo de peces son buenos los valores de alcalinidad y dureza total entre 20 y 300 mg/l de CaCO₃, siendo las aguas más productivas aquellas cuya alcalinidad y dureza presentan valores semejantes. Esto no se debe a la variable en sí, sino a la concentración de fósforo y otros elementos esenciales que se correlacionan con estos. El calcio juega un papel importante en la actividad respiratoria y osmoreguladora de los peces. Una baja alcalinidad puede provocar crecimiento lento y pérdidas de escamas.

Compuestos nitrogenados y fósforo

La fuente principal de compuestos nitrogenados en un cuerpo de agua lo constituye la materia orgánica (proteínas, alimento no ingerido, excrementos, etc.). El N y el P son elementos imprescindibles para todo organismo vivo. Su escasez disminuye la productividad de los cuerpos de agua, sobre todo en lo que hace a la producción primaria. No obstante el exceso de los mismos puede interpretarse como un signo de eutrofización.

El amonio es tóxico en su forma no ionizada, causa efectos adversos en la osmorregulación y en la oxigenación, produciendo cambios patológicos en órganos y tejidos, especialmente branquias e intestino.

Si bien la alcalinidad mantiene el pH de manera más estable, en agua dulce el efecto tóxico del NH₃ es superior a medida que aumenta el pH y la temperatura; por el contrario el aumento de la salinidad tiende a contrarrestar este efecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Boyd, C. 1982. Water quality management for pond fish culture. Elsevier Sc. Publication Company, New York.
- Cerdá, M. 2000. Estimación del crecimiento, tasa de alimentación y producción de desechos en piscicultura mediante un modelo bioenergético. AQUATIC 9: 1-12.
- Cole, G. 1988. Manual de Limnología. Editorial Hemisferio Sur, Uruguay, 406, p.
- Gulland, J. 1971. Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces. Ed. Acribia. España, 155.
- Hepher, B. 1993. Nutrición de peces comerciales en estanques. Ed. Limusa. México, 406 p.
- Lagler, K., J. Bardach, R. Miller, D. Passino. 1984. Ictiología. AGT Editor, México, 489 p.

- Margalef, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega, Barcelona, 1010 p.
- Martinez Córdova, L. 1998. Ecología de los sistemas acuícolas. AGT Editor, México, 227 p.
- Martins de Proenca, C., P. Bittencourt. 1994. Manual de Piscicultura Tropical. Min. Meio Ambiente e da Amazonia Legaladio. Brasil, 195 p.
- Nielsen, L., D. Johnson, S. Lampton. 1983. Fisheries Techniques. American Fisheries Soc. Maryland, 406 p.
- Roberts, R. 1981. Patología de los peces. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 355 p.
- Royce, W. 1996. Introduction to the Practice of Fishery Science. Academic Press Limited, EE.UU., 448 p.
- Steffens, W. 1987. Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Ed. Acribia. España, 278 p.
- Summerfelt R. y G. Hall. 1987. Age and growth of fish. Iowa State University Press. Iowa, 545 p.
- Wheaton, F. 1993. Acuicultura. Diseño y construcción de sistemas. AGT Editor. México, 704, p.

[Volver a: Piscicultura](#)
