

NOTA TÉCNICA N°10

Octubre 2024



Deformaciones en peces: Factores abióticos

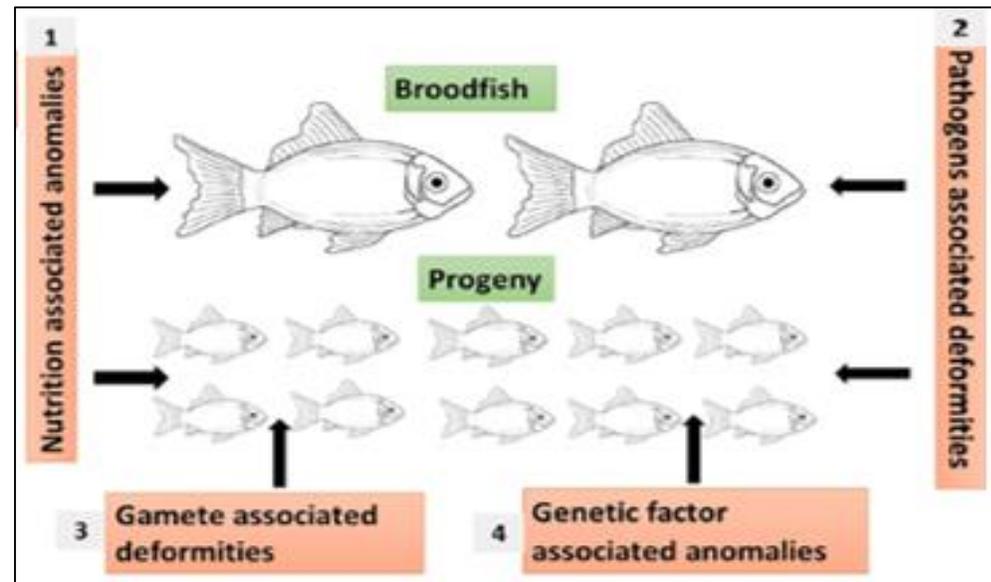
Primera parte

Elaborado por:
Área Asistencia Técnica & Area I+D+i

Introducción

Las **deformaciones** son alteraciones comunes en los salmones en cultivo. Si bien su presentación o desarrollo no está bien comprendido en su totalidad, existe un amplio consenso, basado en evidencia, de que están relacionadas con factores **abióticos** (ambientales y nutricionales) **y bióticos** (genéticos, asociados a gametos y/o infecciosos), pudiendo ser inducidas tanto durante los períodos de desarrollo embrionario, como post-embrionarios (Gisbert et al 2008, Berillis 2015, Chandra et al 2023).

Deficiencias de fósforo, vitaminas K, C, E, ácidos grasos esenciales, DHA, hipervitaminosis A.



Flavobacterium psychrophilum, Streptococcus agalactiae, Myxobolus, Aspergillus, IHNV.

Factores propios del reproductor y factores ambientales que inciden en el reproductor.

Endogamia, diploidía/poliploidía, y sus factores de riesgo ambientales asociados.

Figura 1. Factores bióticos y abióticos involucrados en el desarrollo de deformidades en peces (Adaptado de Chandra et al 2023).

Factores nutricionales: calcio y fósforo



En esta nota técnica y en las dos siguientes, revisaremos los principales factores abióticos descritos en la literatura que están relacionados con anomalías esqueléticas en los peces.

Los **aspectos nutricionales** se posicionan entre los más relevantes o más determinantes, ya que existen nutrientes que desempeñan un papel muy importante en la formación de las anomalías esqueléticas, no sólo directamente en los peces afectados, sino que también a nivel de los reproductores que originan las progenies.

La cantidad y la proporción óptima de diferentes nutrientes, tales como proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas (A, D, E, K y C) y minerales (fosfato, calcio y oligoelementos) son esenciales para el crecimiento y el desarrollo morfológico normal de los peces; cualquier desviación del nivel óptimo, ya sea el exceso o la deficiencia de nutrientes, puede perjudicar el desarrollo y el crecimiento e inducir deformidades en los peces (Silverstone y Hammell, 2002; Gisbert et al, 2008).

A continuación, revisamos los nutrientes más relevantes en deformidades en peces.

Calcio y Fósforo (Ca y P)

Las branquias constituyen la principal vía de ingreso del Ca, proporcionando un acceso continuo a un depósito ilimitado de este mineral, depositándose el Ca absorbido en huesos, escamas y piel, siendo infrecuente su carencia en los peces.

El P se adquiere principalmente a través de la dieta y su regulación es considerada más crítica que la del Ca, ya que los peces deben gestionar eficientemente su absorción, almacenamiento, movilización y conservación de fosfato tanto en ambientes de agua dulce como agua salada (Lal y Lewis-McCrea, 2007). La deficiencia o exceso de P pueden originar la formación de anomalías en todo el esqueleto. En este sentido, Fjelldal et al (2015) y Baeverfjord et al (2019) indican lo mismo, mencionando

Factores nutricionales: Calcio y fósforo (cont.)

además que se ha observado que el P dietético adicional mejora la mineralización y reduce la incidencia de deformidades esqueléticas en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y salmón del Atlántico (*Salmo salar*) triploide.

La deficiencia de P puede llevar a la reducción del crecimiento, disminución de la eficiencia alimentaria, reducción de la mineralización ósea, anomalías cefálicas en huesos frontales y anomalías esqueléticas. Se describen ejemplos de deformidades esqueléticas en diversas especies de peces debido a deficiencias de P, como espinas curvadas y huesos blandos en el salmón del Atlántico. Específicamente, Gisbert et al (2008) indicaron que las dietas bajas en P provocan disminución de crecimiento, baja mineralización del hueso, disminución en producción de osteoblastos y aumento de osteoclastos. Esto lleva a un aumento en incidencias de deformaciones, tanto en columna como en cráneo. También se observa aumento del depósito lipídico y aumento en actividad enzimática específica.

Por otra parte, la relación entre Ca y P en el cuerpo de varias especies de peces oscila entre 0,7 a 1,6. Específicamente, Baeverfjord et al (2019), mencionan que en salmones la relación Ca/P aumenta desde 0,2 a 0,4 antes de la primera alimentación, hasta 1,04 en pre-smolt. En smolts (125 g) en agua de mar, la proporción disminuye a 0,6 y oscila entre 0,7 a 0,8 en adultos.



Figura 2. Fusión vertebral (anquilosis vertebral). Lesión frecuente de detectar en peces con dietas deficientes en Fósforo (Fuente: ADL).

Vitaminas y deformidades

Una baja o alta concentración de vitaminas, hipovitaminosis e hipervitaminosis, respectivamente, según el tipo de vitamina, pueden causar deformidades, variando su necesidad de especie en especie.

Vitamina D: Las necesidades de vitamina D en peces son significativamente mayores que las de los animales terrestres y se considera que es necesario contar con estudios adicionales para comprender mejor la relación entre la vitamina D y el metabolismo del tejido esquelético en peces. Lal y McCrea, (2007), mencionan que se presentan interacciones en el metabolismo y absorción de Ca y P.

Vitamina E: Su importancia en el metabolismo óseo de los peces incluye a los tocoferoles y tocotrienoles, especialmente en lo que respecta a su función antioxidante. No obstante, se requieren estudios más profundos al respecto (Lal y McCrea, 2007).

Vitamina K: Regula la formación ósea a través de la síntesis de osteocalcina por los osteoblastos, lo cual es importante para la mineralización y estructura ósea. Por tanto, una deficiencia sería responsable de la disminución de la mineralización y la masa ósea, aumentando las deformidades. Berillis (2015), informó que en peces de la especie *Fundulus heteroclitus*, las anomalías, como la fusión vertebral, la deformidad de las vértebras y la irregularidad de las alineaciones vertebrales, eran significativamente mayores en los peces alimentados con una dieta libre de vitamina K.

Vitamina C: Su deficiencia podría derivar en deformidades esqueléticas en peces (Darias et al, 2011). Se ha registrado que truchas arcoíris alimentadas con una dieta deficiente en vitamina C mostraban anomalías de la columna vertebral. La deficiencia de vitamina C en el *catfish* causa cifosis espinal, escoliosis y lordosis (Berillis, 2015).

Vitaminas y deformidades (cont.)

Vitamina A: Regula la esquelotogénesis y el desarrollo del cartílago al controlar la función de los condrocitos, la maduración y la proliferación celular. La toxicidad de los retinoides (derivados de la vitamina A) puede reducir la síntesis de colágeno, la formación de hueso y aumentar el número de osteoclastos, provocando una pérdida neta de hueso y un aumento del recambio esquelético. La hipervitaminosis A puede causar deformidades esqueléticas en diferentes zonas de la columna vertebral, como curvaturas, compresiones, fusiones y deformidades mandibulares (Lal y McCrea, 2007). La mineralización precoz debido a la estimulación de osteoclastos puede ser responsable de estas anomalías, la expresión génica, especialmente de genes como Homeobox (*Hox*) y Sonic Hedgehog (*shh*), también puede influir en la formación del esqueleto faríngeo. Finalmente, la exposición a ácido retinoico (forma ácida de la vitamina A) exógeno puede modificar la expresión génica, afectando genes como *Hox* y *shh*, y explicar parcialmente la formación de anomalías esqueléticas (Lal y McCrea, 2007).

Hernández y Hardy (2020), también se refieren a la hipervitaminosis A, indicando que acelera el desarrollo de la columna vertebral a través de la mineralización precoz y puede causar deformidades esqueléticas, como curvaturas vertebrales, compresión y fusión de las vértebras.

Asimismo, se describe un efecto antagónico entre la vitamina A sobre la vitamina D, reduciendo los niveles de su forma activa (Calcitrol) (Ørnsrud et al, 2009).

Ácidos grasos y fosfolípidos

Lal y McCrea (2007), indicaron que la relación entre los lípidos dietéticos y la salud ósea no ha sido extensamente estudiada en peces.

En general, los huesos de algunos peces marinos pueden contener hasta un 24-90% en peso de lípidos. Los tejidos de los peces poseen concentraciones más altas de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) en comparación con mamíferos, lo que los hace vulnerables a la peroxidación lipídica, incidiendo en la salud ósea (la peroxidación lipídica es un proceso autocatalítico desencadenado por radicales libres generados, principalmente, durante el metabolismo aeróbico, donde los iones metálicos de transición, especialmente hierro y cobre, pueden catalizar este proceso). Taslima et al (2022), también se refieren a la peroxidación lipídica, señalando que las enzimas superóxido dismutasa (SOD) y la catalasa (CAT) convierten las especies reactivas de oxígeno en oxígeno no tóxico en el hígado. Una investigación encontró que embriones y larvas de pez dorado (*Carassius auratus*) expuestos a altas concentraciones de Cu (1 mg/L) presentaron una inhibición significativa en la actividad enzimática detoxificadora, causando así estrés oxidativo y generando peroxidación lipídica.

Los peces de agua dulce pueden satisfacer los ácidos grasos esenciales (EFA) con ácidos grasos 18:3n-3 y 18:2n-6, mientras que los peces marinos necesitan PUFA de cadena larga, como 20:5n-3 (EPA) y 22:6n-6 (DHA). Los PUFA derivados de EFA son precursores de eicosanoides, como prostaglandinas y leucotrienos, que desempeñan funciones fisiológicas, incluyendo el metabolismo celular óseo.

Ácidos grasos y fosfolípidos (cont.)

Eissa (2021), indica que la incorporación dietética del ácido docosa-hexaenoico (DHA) disminuye la incidencia de deformaciones operculares; no obstante, tanto la incorporación baja como alta de DHA en la dieta es responsable de las deformidades esqueléticas en los peces. Los niveles subóptimos de ácidos grasos esenciales como el DHA y el alfa-tocoferol exacerbaban las deformidades axiales y craneales al influir en la mineralización temprana, lo que reduce la viabilidad del huevo, la supervivencia embrionaria y una mayor malformación embrionaria. Los niveles más altos de DHA causan la producción de radicales libres y la destrucción de estructuras cartilaginosas sin niveles adecuados de antioxidantes.

Finalmente, los fosfolípidos facilitan la mineralización del cartílago en la placa de crecimiento. Chandra et al (2023), destacan que la fosfatidilcolina tiene un papel importante en el crecimiento y desarrollo de los peces y es útil en la prevención de deformaciones esqueléticas.

En nuestra próxima nota técnica (Nº 11), continuaremos con la revisión de otros factores abióticos implicados en deformidades en peces.

Bibliografía

1. Baeverfjord G, Prabhu PAJ, Fjelldal PG, Albrektsen S, Hatlen B, Denstadli V, Ytteborg E, Takle H, Lock EJ, Berntssen MHG, Lundebye AK, Asgard T, Waagbø R. 2019. Mineral nutrition and bone health in salmonids. *Reviews in Aquaculture* 11, 740–765.
2. Berillis P. 2015. Factors that can lead to the development of skeletal deformities in fishes: a review. *J FisheriesSciences.com* 9(3): 017-023.
3. Chandra G, Saini VP, Kumar S, Fopp-Bayat D. 2023. Deformities in fish: A barrier for responsible aquaculture and sustainable fisheries. *Rev Aquac* 2023, 1:20.
4. Darias, M. J., Mazurais, D., Koumoundouros, G., Cahu, C. L., & Zambonino-Infante, J. L. 2011. Overview of vitamin D and C requirements in fish and their influence on the skeletal system. *Aquaculture*, 315(1–2),49–60.
5. Eissa AE, Abu-Seida AM, Ismail MM, Abu-Elala NM, Abdelsalam M. A. 2021. comprehensive overview of the most common skeletal deformities in fish. *Aquaculture Research* 52: 2391–2402.
6. Fjelldal PG, Hansen TJ, Lock EJ, Wargelius A, Fraser TWK, Sambraus F, El-Mowafi A, Albrektsen S, Waagbo R, Ornsrud R. 2015. Increased in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L). *Aquaculture nutrition* 22(1), 72-90.
7. Gisbert E, Fernández I, Estévez A. 2008. Nutrición y morfogénesis: Efecto de la dieta sobre la calidad larvaria de los peces. *Avances en nutrición acuícola IX Simposio internacional de nutrición acuícola 24-27 noviembre. Universidad Autónoma de Nueva León, México. Disponible en <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/135/133>.*
8. Hernández, LH, Hardy, RW. 2020. Vitamin A functions and requirements in fish. *Aquaculture Research* 51, 3061-3071.
9. Lall SP, Lewis-McCrea LM. 2007. Role of nutrients in skeletal metabolism and pathology in fish — An overview. *Aquaculture* 267 (2007) 3–19.
10. Ørnsrud, R., Lock, E.J., Glover, C.N. & Flik, G. 2009. Retinoic acid cross-talk with calcitriol activity in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Endocrinol.*, 202, 473–482.
11. Silverstone, A., Hammell, L. 2002. Spinal deformities in farmed Atlantic salmon. *Can. Vet. J.*, 43:782-4.
12. Taslima K, Al-Emran Md, Rahman MS, Hasan J, Ferdous Z, Rohani Md Fazle, Shahjahan Md. 2022. Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish – A review. *Toxicology Reports* 9, 858-868.