

## Malformaciones congénitas en larvas de *Oreochromis niloticus* durante la incubación en criadero

### Congenital malformations in *Oreochromis niloticus* larvae during incubation in hatchery

Paul Martín Baltazar Guerrero<sup>1,3</sup>, Jacqueline Palacios León<sup>2</sup>

#### RESUMEN

Se reportan y describen 12 malformaciones congénitas observadas durante el proceso de incubación artificial de embriones de *Oreochromis niloticus*, identificando sus posibles causas y relacionando las mismas con los mecanismos biológicos del desarrollo embrionario normal.

**Palabras clave:** embriones, larvas, tilapia, reproducción, anomalías congénitas

#### ABSTRACT

Twelve congenital malformations observed during the artificial incubation process of *Oreochromis niloticus* embryos in hatchery are reported and described, identifying possible causes and linking them to biological mechanisms of normal embryonic development.

**Key words:** embryos, larvae, tilapia, reproduction, congenital anomalies

<sup>1</sup> Laboratorio de Investigación en Cultivos Marinos (LICMA), Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú

<sup>2</sup> Dirección General de Recursos Demersales, Instituto del Mar del Perú IMARPE, Callao, Perú

<sup>3</sup> E-mail: pbaltazar@cientifica.edu.pe

Recibido: 21 de enero de 2020

Aceptado para publicación: 15 de agosto de 2020

Publicado: 25 de noviembre de 2020

## INTRODUCCIÓN

Las tilapias son peces de agua dulce, endémicos y originarios de África y el Cercano Oriente, cuya producción a nivel mundial sobrepasa los seis millones de toneladas métricas (FAO, 2018). En el Perú, es la cuarta especie acuícola de mayor producción, cuyos volúmenes se han incrementado de 40 t (2000) a 3247 t (2017), siendo las principales zonas productoras: Piura (67%), San Martín (27%) y Lima (6%) (PRODUCE, 2017). El 91% de la producción es comercializada en el mercado local y el 9% es destinado al mercado internacional, principalmente en Estados Unidos (81%) y Ecuador (18.5%) (Baltazar, 2009; Baltazar *et al.*, 2014).

En el cultivo de tilapias se puede distinguir cinco fases: desove, fertilización, incubación, alevinaje, y la etapa de crecimiento, donde el pez desarrolla hasta estar apto para el engorde y posterior cosecha (Burgos, 1999). Dentro de las patologías que pueden afectar a los peces se encuentra las aberraciones genéticas, denominadas también «malformaciones» o «anomalías congénitas» que se originan durante el desarrollo embrionario (Adler, 1974). Tales características pueden o no ser hereditarias (Tavel *et al.*, 2011; Sajeevan y Thoranam, 2016). Se debe considerar que la calidad de los huevos en especies de cultivo es muy variable y afectan las tasas de desarrollo en la incubación (Kjørsvik *et al.*, 2003; Bonnet *et al.*, 2007).

Las malformaciones o anomalías son uno de los mayores problemas de la producción intensiva de alevines de peces en criaderos, dado que traen como consecuencia la disminución del crecimiento, mayor susceptibilidad a enfermedades, altas mortalidades, y pérdidas económicas en las etapas de alevines y crecimiento de la tilapia (Andrade *et al.*, 1996; Koumoundouros *et al.* 1997, 2001; Bogleione *et al.*, 2001, 2013, Argüello *et al.*, 2014). La mayoría de los factores externos que han sido estudiados están relacionados a la alimentación durante el cultivo (Izquierdo

*et al.*, 2001), así como temperatura, pH, salinidad, oxígeno, fotoperiodo, estrés térmico, además de la inducción o sincronización de la ovulación y la maduración de los embriones (Bonnet *et al.*, 2007; Prochazka, 2009).

En el presente trabajo se describen 12 anomalías congénitas observadas durante los diversos experimentos de incubación artificial de embriones de tilapia desarrollados en diversos centros de producción y en laboratorios de empresas privadas entre 2005 y 2017.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Reproductores

Se trabajó con tilapias *Oreochromis niloticus* (variedad roja) del ex Centro de Acuicultura Tambo de Mora, Ica (2005-2007), del Centro de Investigaciones Acuícolas de Calango de la Universidad Científica del Sur, Lima (2010-2016) y de laboratorios de empresas privadas (2008-2009 y 2017). Los peces reproductores, tanto machos como hembras, tenían entre 200 y 300 g de peso. La proporción sexual fue de un macho por tres hembras. Los peces estuvieron estabulados en estanques de 20 m<sup>2</sup> y alimentados tres veces al día con alimento comercial extruido (30% proteína). Una vez realizada la puesta y comprobada la incubación bucal por parte de las hembras, los huevos fueron retirados manualmente de la boca de la hembra, luego de un periodo de 5-10 días de incubación. Durante el periodo indicado en los tres lugares mencionados se estima que la producción fue alrededor de tres millones de larvas y, de las cuales, las anómalas no llegaron a sobrepasar el 1% del total.

### Cría de Larvas

Inmediatamente después de la colecta se realizó una selección en función del desarrollo ontogénico (embriones, larvas recién

eclosionadas, larvas en proceso de reabsorción del saco vitelino), colocándose el material seleccionado en incubadoras rectangulares de 0.008 m<sup>3</sup>, con flujo continuo de agua de 1-2 L.seg<sup>-1</sup> y a temperatura constante de 28 °C. Los embriones y larvas permanecieron en el laboratorio hasta la eclosión y reabsorción del saco vitelino. El agua empleada en la incubación de los embriones provino principalmente del subsuelo, pasaba por filtros de 10, 5 y 1 µm y lámparas UV, para luego ser aireada y mantenida a 28 °C con calentadores termostatos y a niveles de oxígeno mayor a 5 mg. L<sup>-1</sup>.

Larvas que macroscópicamente presentaban algún tipo de malformación eran retiradas y observadas mediante un microscopio de contraste de fase con ocular micrométrico. Se les hacía el registro fotográfico y eran fijadas en alcohol. Para las observaciones en individuos vivos se les anestesiaba con una gota de una solución de benzocaína: acetona (2:1 p/v).

Para la nomenclatura y clasificación de las malformaciones se utilizaron referencias de la literatura científica (Dawson, 1964, 1966, 1971; Adler, 1974; Dawson y Heal, 1976; Dorland, 2001; Godoy, 2015).

## RESULTADOS

Se observaron 10 malformaciones unitarias y dos dobles. Las unitarias afectaban a un solo individuo, destacando las macrocefalias, anoftalmia bilateral, ciclopía, agenesia caudal, escoliosis, lordosis, megalovitelo, agenesia vitelina, disposición posterior del saco vitelino y prognatismo inferior. Las malformaciones dobles afectaban a dos individuos al mismo tiempo, encontrándose los anacatadídimos y teratodimos.

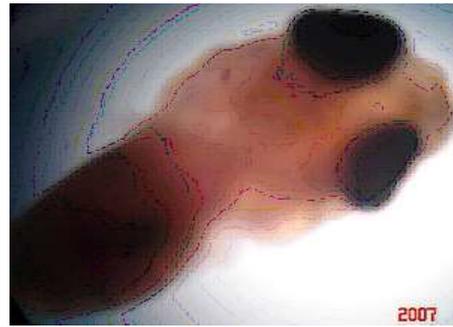


Figura 1. Larva de tilapia *O. niloticus* con macrocefalia ( $0.7 \pm 0.1$  mm longitud total)

### Malformaciones de la Cabeza

#### *Macrocefalia o megalocefalía*

Las larvas presentaron un mayor tamaño de la cabeza en relación con el cuerpo, en comparación con otras larvas de la edad similar. El tamaño de la cabeza representó entre el 60 y el 80% del total de tamaño corporal de las larvas (Figura 1). Las larvas, luego de la reabsorción del saco vitelino no llegan a sobrevivir. La frecuencia de casos no sobrepasó el 1% del total de las larvas en incubación.

### Malformaciones Oculares

#### *Anoftalmia bilateral*

Es un defecto embriológico congénito raro que se caracteriza por la falta completa de uno o ambos globos oculares. Generalmente hay presencia de vestigios oculares rudimentarios (Noden y Lahunta; 1990). La anoftalmia se asocia con una alteración cromosómica en la mayoría de las especies (Hamori, 1983).

Las larvas de tilapia con esta malformación no presentaban vestigios oculares (Figura 2), morían a las pocas horas de la

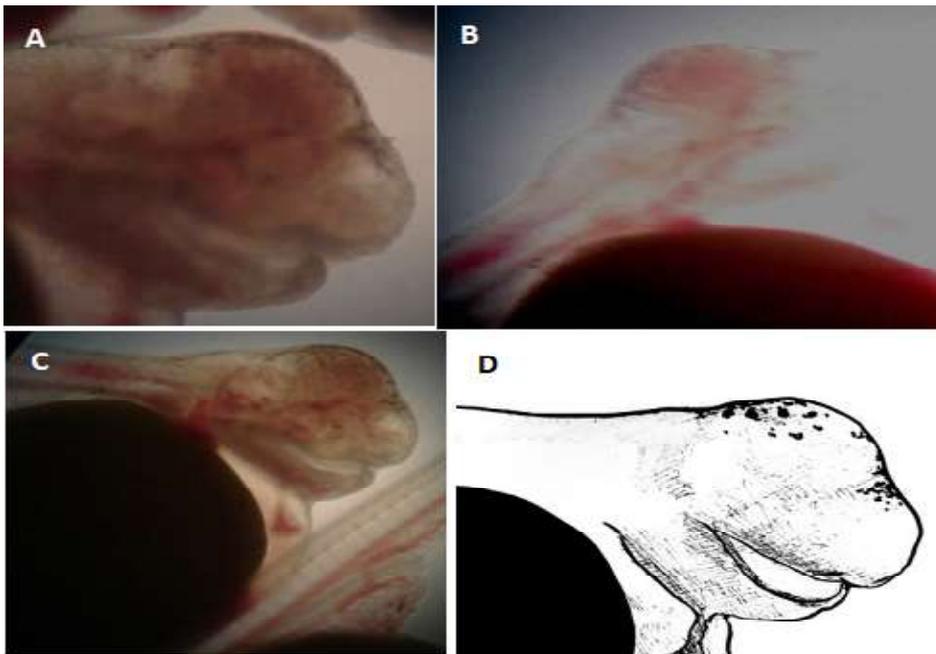


Figura 2. Larvas de *Oreochromis niloticus* con anoftalmía (A, B, C) y deformaciones en la boca (A-C) (larvas de 150  $\mu$ m)



Figura 3. Larva de *Oreochromis niloticus* con ciclopía (larvas de 150  $\mu$ m)

eclosión y no sobrepasaron el 1% de la población eclosionada. Algunas larvas, además de la anoftalmia, presentaban deformaciones en la estructura bucal (Figura 2C).

### *Ciclopía*

Se trata de larvas que tienen un solo ojo y una sola órbita ocular situada en la línea media, aunque en algunos casos se ubican lateralmente. Esta puede contener un solo ojo normal o los dos ojos fusionados (Noden y Lahunta, 1990). Las larvas con esta deformidad presentaron una cabeza con una frente plana en donde los ojos se encontraron fusionados.

Las larvas de tilapia con ciclopía presentaban toda la estructura ocular situada centralmente y el globo ocular tenía un tamaño bastante grande como si se hubiesen fusionado ambos ojos (Figura 3). Estas larvas sobrevivían pocas horas. La frecuencia de esta malformación fue muy baja (<1%).

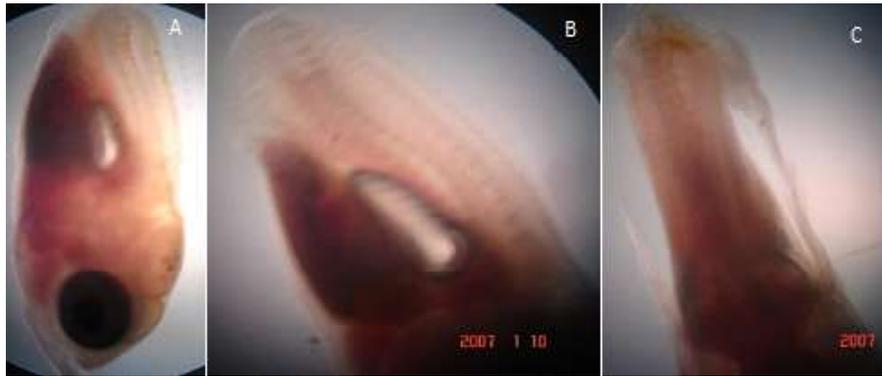


Figura 4. Larva de *Oreochromis niloticus* con agenesia caudal: A, B: agenesia caudal completa; C: vestigio de aleta caudal (larvas de 250  $\mu$ m)

### Malformaciones de las Aletas

#### *Agenesia caudal*

Ausencia de la aleta caudal, debido principalmente a la falta de formación de su primordio en el embrión. Existe una reducción de las vértebras (3-4) con respecto a alevines normales que presentan alrededor de 30 vértebras. En los alevines afectados se notó la falta de desarrollo de la aleta caudal, mas no del total del pedúnculo caudal (Figura 4). En algunos casos estaba presente un vestigio muy primitivo, lo que pudo haber sido un desarrollo incompleto de la aleta caudal. Algunos especímenes que presentaron esta anomalía llegaron a desarrollar hasta adultos. La frecuencia siempre estuvo por debajo del 1%.

### Malformaciones de la Columna Vertebral

#### *Escoliosis*

La deformación se caracterizó por presentar una desviación o curvatura anormal de la columna vertebral, por lo general a nivel de las primeras vértebras, que afectaba la longitud del cuerpo. Las larvas afectadas llegaron a la etapa adulta, pero presentaban problemas de desplazamiento, dado que, al

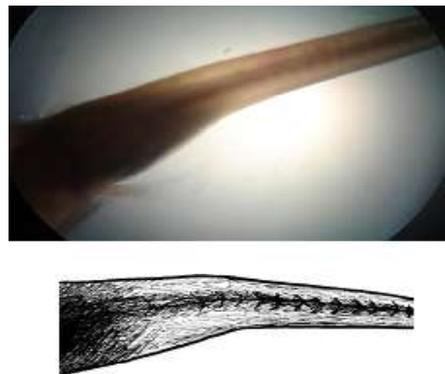


Figura 5. Larva de *Oreochromis niloticus* con escoliosis

nadar, giraban en un mismo punto (Figura 5). La anomalía se observó en larvas de 0.8-10 mm de longitud y con escasa frecuencia (<1%).

#### *Lordosis*

Las larvas presentaron una curvatura hacia delante de la columna vertebral y que, al mirarla de costado, ésta se ve inclinada hacia atrás. Así mismo, se observa una angulación ventral y una notable desviación

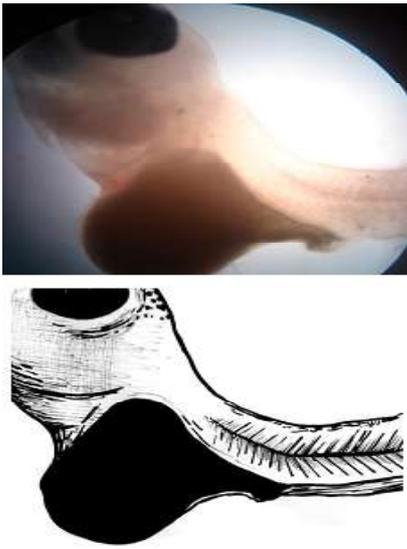


Figura 6. Larva de tilapia *Oreochromis niloticus* roja con lordosis (larvas de 200  $\mu\text{m}$ )

dorsal del pedúnculo caudal. Esta curvatura se da principalmente en las vértebras torácicas de manera que la zona baja del tórax adopta una forma cóncava (Figura 6). Las malformaciones se presentaron principalmente entre las vértebras 7 y 13, siendo más pronunciado entre las vértebras 8 y 11, afectando un mínimo de 2 y un máximo de 5 vértebras consecutivas. El ángulo de curvatura espinal varió en función de la localización (mayormente entre 50 y 70°, pudiendo alcanzar 84° de desviación). Las larvas sobrevivieron hasta la etapa adulta.

Las larvas con este tipo de malformación mantienen una completa normalidad de sus órganos internos. Solo se observa un desgase de la musculatura en la región ventral. La malformación se presentó en larvas con tallas de 0.8-10 mm de longitud total y en una frecuencia menor al 1%.

## Malformaciones del Saco Vitelino

### *Megalovitelo*

Esta malformación se define como un excesivo tamaño del saco vitelino ( $205 \pm 5 \mu\text{m}$ ) con relación al tamaño total de la larva ( $320 \pm 10 \mu\text{m}$ ).

Las larvas que presentaban esta anomalía generalmente eclosionaban muertas o morían entre el 1° y el 3° día de haber eclosionado. Además, la mayoría de estas larvas presentaban todo el cuerpo enrollado sobre el saco vitelino (Figura 7A), y la forma del cuerpo no correspondía al de una larva normal (Figura 7B, y las estructuras corporales estaban poco desarrolladas; por ejemplo, el pedúnculo caudal (Fig. 7C).

### *Agenesia vitelina*

Esta malformación es la ausencia total o parcial del saco vitelino en las larvas recién eclosionadas. Se observaron larvas que tenían un saco vitelino muy rudimentario. Algunas larvas presentaron estructuras rudimentarias de lo que podría ser el remanente del saco vitelino (Figura 8A). Otra malformación observada en estas larvas es la disposición siempre abierta de la estructura bucal (Figura 8B). Estas larvas mueren al cabo de 1 a 2 días de eclosionadas.

### *Disposición posterior del saco vitelino*

Esta malformación se caracteriza por que la ubicación del saco vitelino por detrás del orificio anal (Figura 9) y con presencia de una microvitelosis. Estas larvas no logran sobrevivir más de 48 horas después de la reabsorción total del saco vitelino. La frecuencia fue menor del 1% del cultivo.

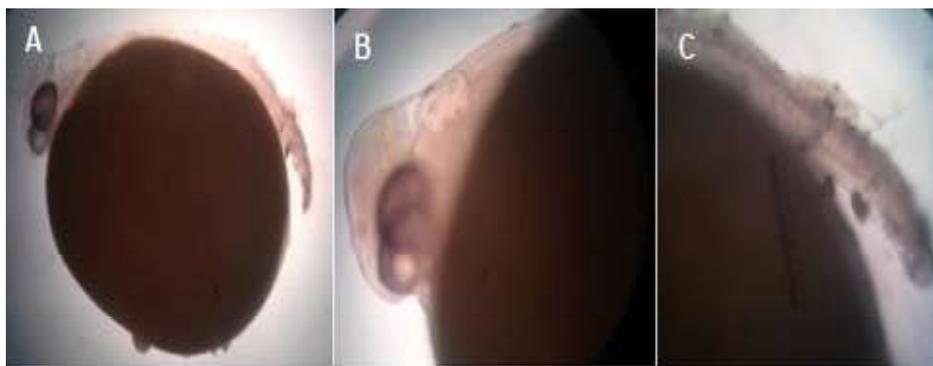


Figura 7. Larvas *Oreochromis niloticus* con megalovitelo. A, B: Larvas con deformidad en la cabeza; C: Larva con pedúnculo caudal deformado (larvas de 120  $\mu\text{m}$ )

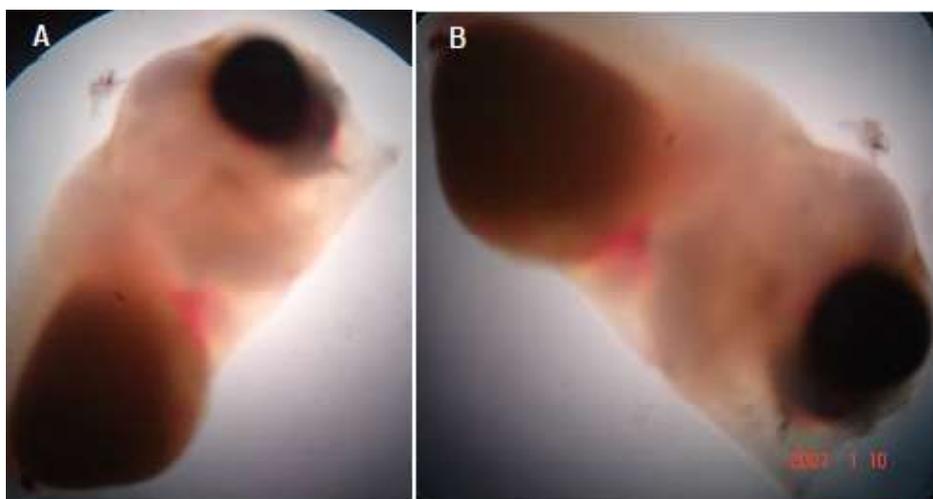


Figura 8. Larva de *Oreochromis niloticus* con agenesia vitelina. A: Estructura vitelina rudimentaria; B: Agenesia vitelina y malformación bucal (larvas de 150  $\mu\text{m}$ )

### Malformación de las Estructuras Bucales

#### *Prognatismo inferior*

Esta malformación es una proyección de la mandíbula por delante de un plano tangente a la parte anterior de la cabeza y es perpendicular a su vez a un plano horizontal (Noden y Lahunta; 1990). Se observó que la mandíbula sobresalía en 2/5 partes del tamaño total de la mandíbula (Figura 10).

### Poliembrionía

Dentro de este grupo se encontraron, aquellos que formaban una sola estructura, y según el nivel de la unión corporal, algunos en forma de «H» denominados teratópagos y otros unidos en forma de «Y» llamados teratodimos (Adler, 1974). Según Petrescu-Mag *et al.* (2011), estas deformaciones dobles se denominan onfalopagias y pueden ser epigástricas cuando las larvas se encuentran

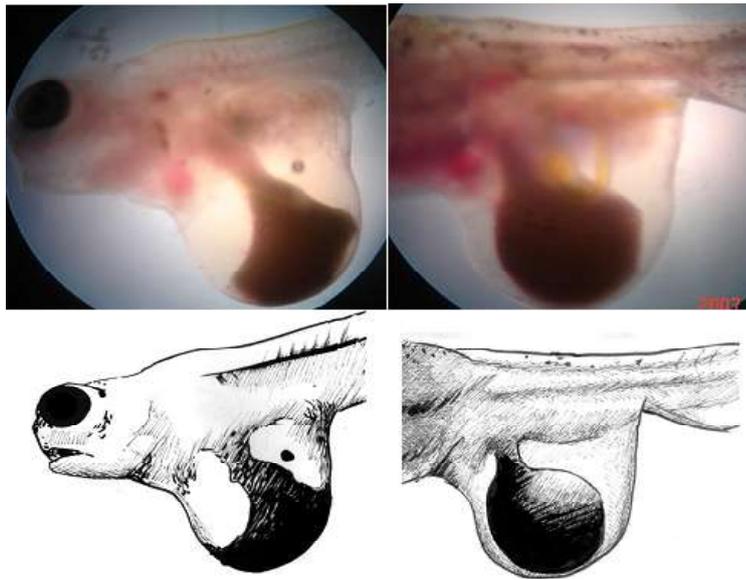


Figura 9. Larva de *Oreochromis niloticus* con ubicación posterior del saco vitelino (larvas de 155  $\mu\text{m}$ )

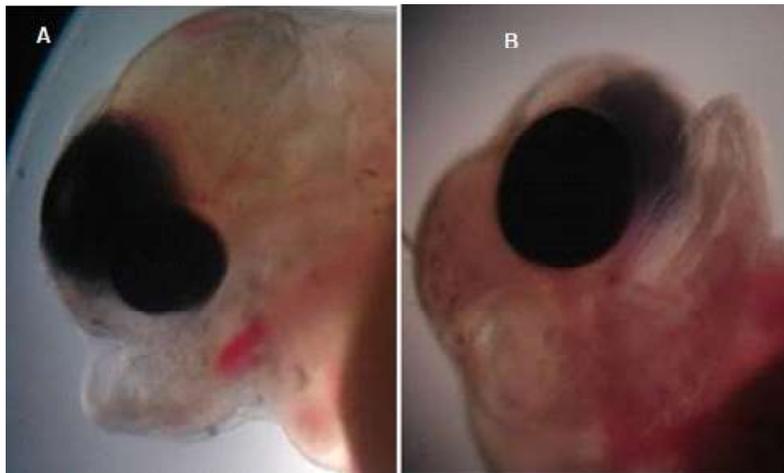


Figura 10. Larvas de *Oreochromis niloticus* con prognatismo. A: Prognatismo inferior; B: prognatismo inferior acentuado (larvas de 150  $\mu\text{m}$ )

unidas ventralmente a nivel de la zona vitelina, y onfalopagias epigastro-caudal cuando están unidas ventralmente a nivel de la región vitelina y caudal. Esta anomalía no fue frecuente en los sistemas de incubación (<1%).

#### *Teratópagos o anacatadídimos*

Las larvas se encontraron unidas simétricamente, cara a cara, de tamaño similar, y con longitudes que variaron entre 142 y 147  $\mu\text{m}$ . Cada ejemplar mantuvo su circulación



Figura 11. Larvas de *Oreochromis niloticus* siameses anacatadídimos

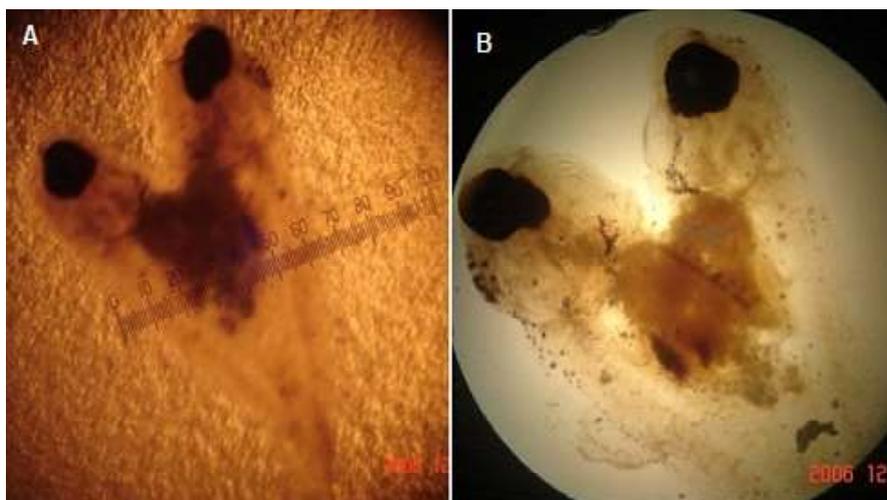


Figura 12. Larvas *Oreochromis niloticus* siameses catadídimos

sanguínea, los órganos y estructuras anatómicas por separado; tanto en la región encefálica y troncocaudal. La conexión solo fue a nivel de la región abdominal, por intermedio de la pared del saco vitelino; es decir, por la somatopleura (ectodermo más la hoja somática del mesodermo lateral) y la esplacnopleura (endodermo más la hoja del

mesodermo lateral), compartiendo la masa de vitelo y la cavidad celómica (Figura 11).

Suelen llegar a sobrevivir hasta el término de la reabsorción del saco vitelino. Posteriormente, al presentar dificultades en el nado y búsqueda de alimento llegan a morir. Esta anomalía presentó una muy baja frecuencia en los sistemas de incubación.

*Teratodymos, dicefagos o catadídimos*

Las larvas se encuentran fusionadas a nivel de la región vitelina, así como por los tejidos de la musculatura de la región caudal (Figura 12), conformando una «Y». Ambas larvas tenían un tamaño similar (140 y 145 µm). Las larvas se encuentran mirándose ventralmente y entre las cabezas forman un ángulo de 40 a 60°. Ambos ejemplares mantienen individualmente los órganos y estructuras anatómicas por separado. En ambos casos, suelen llegar a sobrevivir hasta el término de la reabsorción del saco vitelino, tienen dificultades para el nado y en la ingesta de alimento, por lo que tienden a morir al poco tiempo.

## DISCUSIÓN

Tave *et al.* (2011) describen cerca de 31 anomalías en *O. niloticus*, principalmente en etapas juveniles y adultas, de las cuales ocho se han podido observar en este trabajo, pero en etapas larvales. Estas malformaciones no son propias de la tilapia, sino que se presentan en todas las poblaciones de peces (Dawson 1964, 1966, 1971; Dawson y Heal, 1976; Afonso *et al.*, 2000, Verhaegen *et al.*, 2007; Arguello *et al.*, 2014; Wosnick *et al.*, 2019).

Las malformaciones están asociadas a la intensificación del cultivo, a condiciones medioambientales desfavorables (temperatura, pH, velocidad de la corriente, hipoxia), desbalances nutricionales, enfermedades y factores genéticos (Andrade *et al.*, 1996; Izquierdo *et al.*, 2001, 2010; Cahu *et al.*, 2003; Fraser y de Nys, 2005; Verhaegen *et al.*, 2007; Georgakopoulous *et al.*, 2010; Sajeevan y Thoranam, 2016; Rosas *et al.*, 2019; Wosnick *et al.*, 2019). Según sea el caso, pueden ser clasificadas como aquellas que afectan a los tejidos blandos (anoftalmía, ciclopía, agenesia caudal, megalovitelo, agenesia vitelina, disposición posterior del saco vitelino, teratopagos y teratodymos) o a los

tejidos duros (escoliosis, lordosis, prognatismo inferior) (Godoy, 2015).

Todas estas anomalías se pudieron observar durante la incubación artificial de las larvas de *O. niloticus*. Cabe indicar que las densidades de cultivo en las incubadoras se encontraron entre 4 y 16 embriones/m<sup>3</sup>, densidades inferiores a las reportadas por Prieto y Olivera (2002) de 1000 huevos.L<sup>-1</sup> y por De Silva *et al.* (2015) de 500 embriones-larvas.L<sup>-1</sup>). Los parámetros físicoquímicos del agua se encontraron dentro de los estándares establecido para incubación de las ovas-embriones, al igual que los nutrientes para los reproductores de esta especie (Tsadik y Bart, 2007; Bhujel *et al.*, 2007), de allí que la densidad, calidad de agua y la dieta no podrían ser las causales de estas malformaciones. Por otro lado, Tave *et al.* (2011) indica que estas anomalías pueden ocurrir con mayor frecuencia en especies híbridas, siendo este el presente caso donde las larvas que presentaron estos problemas procedieron de reproductores híbridos.

Según Climent (2004) y Hamori (1983), la escoliosis y la lordosis son desviaciones anormales de la columna vertebral, que pueden variar entre leves a graves. Algunas deformidades esqueléticas son explicadas a través de modelos unigénicos, recesivos o dominantes, como es el caso de la lordosis y fusiones de vértebras en tilapia del Nilo (*Oreochromis nilotica*) y en guppy (*Poecilia reticulata*) (Rosenthal y Rosenthal, 1950; Lodi, 1978; Petrescu-Mag *et al.*, 2011), o por modelos poligénicos para una deformidad a modo de giba en salmón del Atlántico (McKay y Gjerde, 1986). En el caso de la dorada (*Sparus aurata* L), una triple deformidad de la columna vertebral (lordosis-escoliosis-cifosis) ha sido asociada a la estructura familiar (Afonso *et al.*, 2000). Los resultados del presente estudio están de acuerdo con los obtenidos por Chatain (1994) y Divanach *et al.* (1996) respecto a la ubicación y número de vértebras afectadas por la lordosis.

Se evidenciaron dos grupos de siameses, los cuales estuvieron unidos hasta la eclosión y reabsorción del saco vitelino. Según Teraoka *et al.* (2003), esto ocurre en peces a partir de un solo cigoto y que se encuentran dentro de una misma membrana embrionaria. Por otro lado, Noden y Lahunta (1990) indican que la citocinesis se presenta tardíamente, y esto ocasiona que no se dividan correctamente las estructuras celulares, de allí que, las larvas al eclosionar compartan algunas estructuras u órganos. Con respecto a la viabilidad de los peces con este tipo de malformaciones congénitas, Laale (1984) indica que una trucha marrón *Salmo trutta* bicéfalo sobrevivió hasta 7.5 años llegando a alcanzar 203 mm de longitud, mientras que Paredes (2005) indica que un siamés *Melanochromis auratus* llegaron a sobrevivir por dos años; hecho que no se ha evidenciado en el presente estudio donde los siameses murieron al terminar la reabsorción del saco vitelino.

La aparición de larvas anómalas de *O. niloticus* en los sistemas de incubación que no estaba prevista. Por otro lado, no hay mucha información a nivel de malformaciones en larvas de peces de cultivo en ambientes continentales y en particular para *O. niloticus*. Existen reportes principalmente para peces marinos (Boglione *et al.*, 2001, 2013; Arguello *et al.*, 2014; Prestinicola *et al.*, 2014; Godoy 2015) sobre este tipo de anomalías.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Karina Cabana Condori y Roxana Carrascal Wong por la asistencia en la toma fotográfica del presente trabajo. A Leonardo Sánchez Laguna por los dibujos realizados y Max Castañeda Franco por su ayuda en la revisión del trabajo.

### LITERATURA CITADA

1. **Adler R. 1974.** Biología del desarrollo y malformaciones congénitas. Buenos Aires, Argentina: Ed. El Ateneo. 185 p.
2. **Afonso JM, Montero L, Robaina L, Astorga N, Izquierdo MS, Ginés R. 2000.** Association of a lordosis scoliosis-kypnosis deformity in gilthead seabream (*Sparus aurata*) with family structure. *Fish Physiol Biochem* 22: 159-163.
3. **Andrade JA, Becerra J, Fernández-Llebrez P. 1996.** Skeletal deformities in larval, juveniles and adult stages of cultured gilthead sea bream (*Sparus auratus*). *Aquaculture* 141: 1-11. doi: 10.1016/0044-8486(95)01226-5
4. **Argüello GW, Bohórquez CM, Silva A. 2014.** Malformaciones craneales en larvas y juveniles de peces cultivados. *Lat Am J Aquat Res* 42: 950-962. doi: 10.3856/vol42-issue5-fulltext-2
5. **Baltazar PM. 2009.** Cultivo de tilapia en Perú. *Infopesca* 40: 21-26.
6. **Baltazar PM, Palacios J. 2014.** La acuicultura en el Perú: producción, comercialización, exportación y potencialidades. *Foro Iberoam Rec Mar Acui* 7: 293-304.
7. **Boglione C, Gagliardi F, Scardi M, Cataudella S. 2001.** Skeletal descriptor and quality assessment in larvae and post larvae of wild caught and hatchery reared gilthead sea bream (*Sparus auratus* L. 1758). *Aquaculture* 192: 1-22. doi: 10.1016/S0044-8486(00)00446-4
8. **Boglione C, Gavaia P, Koumoundouros G, Gisbert E, Moren M, Fontagn S, Eckhard WP. 2013.** Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. Part 1: normal and anomalous skeletogenic processes. *Rev Aquacult* 5: S99-S120. doi: 10.1111/raq.12015
9. **Bonnet E, Fostier A, Bobe J. 2007.** Characterization of rainbow trout egg quality: a case study using four different breeding protocols, with emphasis on the incidence of embryonic malformations. *Theriogenology* 67: 786-794. doi: 10.1016/j.theriogenology.2006.10.008
10. **Bhujel RC, David C. Little DC., Hossain A. 2007.** Reproductive performance and the growth of pre-stunted and normal Nile tilapia (*Oreochromis*

- niloticus*) broodfish at varying feeding rates. *Aquaculture* 273: 71-79. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.09.022
11. **Burgos AME. 1999.** Malformaciones encontradas en alevines de salmón del atlántico (*Salmo solar*) provenientes de ovas nacionales e importadas en una piscicultura de la Décima Región, Chile. Tesis de Médico Veterinario. Valdivia, Chile: Univ. Austral de Chile. 45p.
  12. **Cahu C, Zambonino IJ, Takeuchi T. 2003.** Nutritional components affecting skeletal development in fish larvae. *Aquaculture* 227: 245-258. doi: 10.1016/S0044-8486(03)00507-6
  13. **Chatain B. 1994.** Abnormal swimbladder development and lordosis in sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and sea bream (*Sparus auratus*). *Aquaculture* 119: 371-379. doi: 10.1016/0044-8486(94)90301-8
  14. **Climent PS. 2004.** Manual de anatomía y embriología de los animales domésticos: conceptos básicos y datos aplicativos. Zaragoza, España: Acribia. 367 p.
  15. **Dawson CE. 1964.** A bibliography of anomalies of fishes. *Gulf Res Rep* 1: 308-399. doi: 10.18785/grr.0106.01
  16. **Dawson CE. 1966.** A bibliography of anomalies of fishes, supplement 1. *Gulf Res Rep* 2: 169-176. doi: 10.18785/grr.0202.03
  17. **Dawson C.E. 1971.** A bibliography of anomalies of fishes, supplement 2. *Gulf Res Rep* 3: 215-239. doi: 10.18785/grr.0302.05
  18. **Dawson CE, Heal E. 1976.** A bibliography of anomalies of fishes, supplement 3. *Gulf Res Rep* 5: 35-41. doi: 10.18785/grr.0502.05
  19. **De Silva MPKSK, Senaarachchi WARK, Liyanage NPP. 2015.** Establishment and efficiency evaluation of a simple mini hatchery for production of *Oreochromis niloticus* (GIFT strain) seeds. *Ruhuna J Sci* 10(1). [Internet]. Available in: <http://192.248.48.10/index.php/rjs/article/view/75>
  20. **Divanach P, Boglione C, Menu B, Koumoundouros G, Kentouri M, Cataudella S. 1996.** Abnormalities in finfish mariculture: an overview of the problem, causes and solutions. In: Proc International Workshop on seabass and seabream culture: problems and prospects. EAS Ostende, Verona.
  21. **Dorland B. 2001.** Diccionario médico. España: McGraw Hill Interamericana. 873 p.
  22. **[FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2018.** El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma: FAO. 234 p.
  23. **Fraser MR, de Nys R. 2005.** The morphology and occurrence of jaw and operculum deformities in cultured barramundi (*Lates calcarifer*) larvae. *Aquaculture* 250: 496-503. doi: 10.1016/j.aquaculture.2005.04.067
  24. **Georgeakopoulos E, Katharios P, Divanach P, Koumoundouros G. 2010.** Effect of temperature on the development of skeletal deformities in gilthead seabream (*Sparus aurata* Linnaeus, 1758). *Aquaculture* 308: 13-19. doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.08.006
  25. **Godoy GM. 2015.** Patología en acuicultura: Siameses en alevines con saco de salmón del Atlántico (*Salmo salar*): Patología macroscópica. [Internet]. Disponible en: <https://www-marcosgodoy.com/index.php?lang=es>
  26. **Hamori D. 1983.** Constitutional disorders and hereditary diseases in domestic animals. New York, USA: Elsevier Scientific. 728 p.
  27. **Izquierdo MS, Fernandez-Palacios H, Tacon AG. 2001.** Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish. *Aquaculture* 197: 25-42. doi: 10.1016/S0044-8486(01)00581-6
  28. **Izquierdo MS, Socorro J, Roo J. 2010.** Studies on the appearance of skeletal anomalies in red porgy: effect of culture intensiveness, feeding habits and nutri-

- tional quality of live preys. *J Appl Ichthyol* 26: 320-326. doi: 10.1111/j.1439-0426.2010.01429.x
29. **Kjørsvik E, Hoehne-Reitan K, Reitan KI. 2003.** Egg and larval quality criteria as predictive measures for juvenile production in turbot (*Scophthalmus maximus* L.) *Aquaculture* 227: 9-20. doi: 10.1016/S0044-8486(03)00492-7
  30. **Koumoundouros G, Gagliardi F, Divanach P, Boglione C, Cataudella S, Kentouri M. 1997.** Normal and abnormal osteological development of caudal fin in *Sparus auratus* L fry. *Aquaculture* 149: 215-226. doi: 10.1016/S0044-8486(96)01443-3
  31. **Koumoundouros G, Divanach P, Kentouri M. 2001.** The effect of rearing conditions on development of saddleback syndrome and caudal fin deformities in *Dentex dentex* (L). *Aquaculture* 200: 285-304. doi: 10.1016/S0044-8486(01)-00552-X
  32. **Laale HW. 1984.** Polyembryony in teleostean fishes: double monstrosities and triplets. *J Fish Biol* 24: 711-719. doi: 10.1111/j.1095-8649.1984.tb04842.x
  33. **Lodi E. 1978.** Palla: a hereditary vertebral deformity in the guppy, *Poecilia reticulata* Peters (Pisces: Osteichthyes). *Genetica* 48: 197-200.
  34. **McKay LR, Gjerde B. 1986.** Genetic variation for spinal deformity in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture* 52: 263-272. doi: 10.1016/0044-8486(86)-90369-8
  35. **Noden DM, Lahunta A. 1990.** Embriología de los animales domésticos. Mecanismos de desarrollo y malformaciones. Zaragoza, España. Acribia. 188 p.
  36. **Paredes ME, Mejía H. 2005.** Un siamés vivo de la familia cichlidae *Melano-chromis auratus*. *Rev Digital Universitaria* 6: 1067-6079.
  37. **Petrescu-Mag IV, Păsărin B, Hoha G, Hâr'an R, Odagiu AM. 2011.** New contributions to knowledge of embryonic malformations in guppies. *AACL Bioflux* 4: 216-228.
  38. **Prestinicola L, Boglione C, Cataudella S. 2014.** Relationship between uninflated swim bladder and skeletal anomalies in reared gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 432: 462-469. doi:10.1016/j.aquaculture.2014.06.020
  39. **Prieto CA, Olivera AM. 2002.** Incubación artificial de huevos embrionados de tilapia roja *Oreochromis* sp. *Rev Col Cienc Pec* 15: 115-120.
  40. **Prochazka E. 2009.** Incidence of malformations in fish embryos/larvae (review). [Internet]. Available in: [https://www.academia.edu/6609640/Incidence\\_of\\_malformations\\_in\\_fish\\_embryos\\_larvae\\_review](https://www.academia.edu/6609640/Incidence_of_malformations_in_fish_embryos_larvae_review)
  41. **[PRODUCE]. Ministerio de la Producción. 2017.** Estadística de pesca y acuicultura del Perú. [Internet]. Disponible en: <https://rnia.produce.gob.pe/produccion/>
  42. **Rosas MG, Lorenzatti A, Porcel de Peralta MS, Calcaterra NB, Coux G. 2019.** Proteasomal inhibition attenuates craniofacial malformations in a zebrafish model of Treacher Collins syndrome. *Biochem Pharmacol* 163: 362-370. doi: 10.1016/j.bcp.2019.03.005
  43. **Rosenthal HL, Rosenthal RS. 1950.** Lordosis, a mutation in the guppy, *Lebistes reticulatus*. *J Hered* 41: 217-218. doi: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a106133
  44. **Sajeewan S, Thoranam VA. 2016.** Morphological and osteological malformations in hatchery bred redline torpedo fish, *Sahyadria denisonii* (Day 1865) (Cyprinidae). *Anal Biol* 38: 73-80. doi: 10.6018/analesbio.38.07
  45. **Verhaegen Y, Adriaens D, De Wolf T, Dhert P, Sorgeloos P. 2007.** Deformities in larval gilthead seabream (*Sparus aurata*): a qualitative and quantitative analysis using geometric morphometrics. *Aquaculture* 268: 156-168. doi: 10.1016/j.aquaculture.2007.04.037

46. **Tave D, Jo JY, Kim DS. 2011.** Gross abnormalities in tilapia. *Fish Aquatic Sci* 14: 148-160. doi: 10.5657/FAS.2011.0148
47. **Teraoka H, Dong W, Hiraga T. 2003.** Zebrafish as a novel experimental model for developmental toxicology. *Congenit Anom* 43: 123-132. doi: 10.1111/j.1741-4520.2003.tb01036.x
48. **Tsadik GG, Bart AN. 2007.** Effects of feeding, stocking density and water-flow rate on fecundity, spawning frequency and egg quality of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L). *Aquaculture* 272: 380-388. doi: 10.1016/j.aquaculture.-2007.08.040
49. **Wosnick N, Takatsuka V, Mello AE, Dias J, Lubitz N, Guedes de Azevedo V. 2019.** Embryonic malformations in an offspring of the shortnose guitarfish. *Braz J Oceanography* 67: e19273. doi: 10.1590/s1679-87592019027306710