

La salinidad como modulador del crecimiento en los peces de ornato *Poecilia sphenops* y *Poecilia latipinna* (Pisces: Poeciliidae).

Salinity as a modulator of growth in ornamental fish *Poecilia sphenops* and *Poecilia latipinna* (Pisces: Poeciliidae).

¹María Guadalupe Valencia Cadena,¹Hugo R. Molina Arroyo,¹Ernesto Mangas Ramírez,
¹María Concepción López Téllez,¹Antonio Fernández Crispin,¹Emiliano Vázquez García

Escuela de Biología, BUAP. Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio Edificio 112-A, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria. C.P. 72570. Puebla. México. Tel. 01 (222) 2295500 ext. 7091. e-mail:
hugo_molina_arroyo@hotmail.com

RESUMEN

El cultivo de peces de ornato es una industria en permanente crecimiento. En México alcanza una producción de 60 millones de organismos vivos provenientes de unas 700 unidades de cultivo. En el presente trabajo se determinó el efecto de diferentes concentraciones salinas sobre el crecimiento de las crías de *Poecilia sphenops* (molly negra) y *Poecilia latipinna* (molly de aleta gigante) especies eurihalinas ornamentales con alta demanda en el mercado. Así mismo se relaciona el crecimiento de los ejemplares con el consumo y la eficiencia de extracción de oxígeno y el contenido corporal de agua. Con este fin las crías de ambas especies se expusieron durante 17 días a 0, 6, 9 y 17 partes por mil (‰) de salinidad (equivalentes al 0, 17, 25 y 50 % de la salinidad del agua de mar). Al final de la exposición se determinó que el crecimiento se ve favorecido ($p < 0.05$) en presencia de la sal como resultado de la respuesta positiva de los procesos metabólicos, los cuales permitieron orientar gran parte de la energía a este renglón. Respecto al consumo y la eficiencia de extracción de oxígeno se determinó que en las concentraciones 9 y 17‰ la tasa respiratoria se incrementa un 20% respecto a los grupos de 0 y 6‰, suponiendo un gasto energético mayor como resultado de los ajustes metabólicos frente al ambiente. Por último, el contenido corporal de agua de las crías disminuyó ($p < 0.05$) en los ambientes experimentales salinos, señalando la puesta en marcha de mecanismos fisiológicos de compensación. A partir de modelos empíricos polinomiales se calculó la concentración de sal marina necesaria para obtener la mejor tasa de crecimiento en las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna*, recomendándose 13 y 18‰ respectivamente.

Recibido: Octubre, 2016

Aprobado: Noviembre, 2016

ABSTRACT

The ornamental fish farming is an industry in constant growth. In Mexico it has reach a production of 60 million living organisms from 700 farming units. We study the effect of different salt concentrations on the growth of young *Poecilia sphenops* (black molly) and *Poecilia latipinna* (molly giant fin), which are euryhaline ornamental species with high demand on the market. In addition, we studied the relationship between the growth and respiratory rate, oxygen extraction efficiency and body water content. Both species were exposed for 17 days at 0, 6, 9 and 17 parts per thousand (‰) salinity (equivalent to 0, 17, 25 and 50% of the salinity of seawater). We determined that the growth is favored by increases in external salt concentration, with relative growth values above 200% in all cases. Higher salinity concentrations (9 and 17 ‰) the respiratory rate and the oxygen extraction efficiency increased by 20% with respect lower concentration groups (0 and 6 ‰), so we assumed that there is a increased energy expenditure as a result of metabolic adjustments facing environment. Finally, body water content of the fish decreased in experimental saline environments ($p < 0.05$), proving of physiological compensation mechanisms. From polynomial empirical models, we calculate the sea salt concentration required to obtain the best growth rate in the young of *P. sphenops* and *P. latipinna*, recommending 13 and 18 ‰ respectively.

Palabras clave: Crecimiento, *Poecilia latipinna*, *Poecilia sphenops*, Salinidad.

Keywords: Growth, *Poecilia sphenops*, *Poecilia latipinna*, Salinity

INTRODUCCIÓN

Los peces de ornato cultivados se han convertido en décadas recientes en una de las mascotas preferidas en los hogares mexicanos, logrando una gran popularidad entre los consumidores que gustan de la acuariofilia. Lo anterior debido principalmente a su costo relativamente bajo, el poco espacio que ocupan y su fácil mantenimiento.

El incremento en la demanda de los peces de ornato en el País a partir de la década de los noventa, generó un aumento en las importaciones del producto y desde luego un apuntalamiento en la producción nacional (Ramírez y col., 2010). En la actualidad en México esta industria representa un valor aproximado de cuatro mil 500 millones de pesos anuales con base en una producción promedio de 60 millones de organismos vivos provenientes de unas 700 unidades de cultivo ubicadas en 23 entidades (SAGARPA, 2016).

A nivel mundial la familia *Poeciliidae* (Guppys, mollys, platys y espadas) se ubican entre las primeras 10 familias con mayor importancia en el comercio de peces de ornato. En específico *Poecilia latipinna* se encuentra entre las 20 especies más vendidas en el mundo, ocupando en México el cuarto lugar (Ramírez y col., 2010). El poecilido *P. latipinna* se caracteriza por su aleta dorsal en forma de vela que caracteriza a los machos, haciendo de esta su principal atractivo en los acuarios. En ambientes naturales esta especie se presenta desde Carolina del Norte en EEUU hasta Veracruz en México, pero se ha introducido ya en otros países. Se encuentran en agua dulce de lagos, manantiales, lagunas y pozas, es abundante en zanjas y canales de marea donde se genere agua salobre. Rango de temperatura de 20 a 28°C. Con una Longitud Total (LT) máxima de 15cm en machos y 10cm en hembras. Se alimenta de algas, rotíferos, crustáceos pequeños e insectos acuáticos (NatureServe, 2013; Froese y Pauly, 2016).

Otro de los poecilidos con elevada comercialización es *Poecilia sphenops*, variedad Molly negro o Molinesia negra (black molly) debido al color negro opaco que presenta. Organismo tropical distribuido desde México a Colombia, en aguas dulces y salobres. Rango de temperatura de 18 a 28°C, pH de 7.5 a 8.2 unidades y de 11 a 30 dH. En machos una LT máxima de 6cm. Se alimenta de gusanos, crustáceos y materia vegetal. La variedad negra de acuario se alimenta bien de algas y alimento seco (Froese y Pauly, 2016).

La cercanía taxonómica de ambas especies les permite tener características en común o muy similares, como el hecho de ser ovovivíparas, produciendo después de 28 días de gestación entre 10 a 100 crías *P. latipinna* y de 20 a 150 crías *P. sphenops* ambas con base a su edad y tamaño. Son bentopelágicos con un amplio rango de tolerancia a la salinidad ambiental (eurihalinos) (Froese y Pauly, 2016), por lo que se recomienda, en condiciones de acuario, añadir de 1 a 5 gramos de sal no refinada por cada litro de agua, o bien agua de mar reestructurada entre el 2 y 20% del total del acuario.

La recomendación de agregar sal al acuario genera interrogantes sobre la cantidad exacta que debe colocarse y si esta varía entre las especies que son consideradas para su cultivo, lo anterior tomando en cuenta que en los sistemas acuáticos, la presencia de cualquier factor estresante en el medio puede afectar severamente el crecimiento, la supervivencia y consecuentemente la producción de los mismos (Tomasso, 1996).

Estudios al respecto con poecílicos se llevan a cabo desde la década de los cincuenta, como lo señalan Gibson y Hurst (1955) autores que reportan el efecto combinado de la temperatura (20, 23, 25, 30 y 32°C) y la concentración salina (0, 25 y 50% del agua de mar) sobre el crecimiento de los juveniles del guppy (*Lebistes reticulatus*), reportando que el crecimiento es más rápido a temperaturas 23 y 25°C y en presencia de sal en el ambiente.

En la actualidad los argumentos sobre los mecanismos de supervivencia, crecimiento, metabolismo y osmoregulación en los peces eurihalinos abarcan estudios sobre modificaciones funcionales a nivel molecular y celular en las branquias sustentando el intercambio iónico entre el individuo y el ambiente. Yang y col. (2011) reportan para el poecílido *P. latipinna* cambios importantes en la expresión del co-transportador $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{2Cl}^-$ mientras que reconocen la importancia de la N^+/K^+ -ATPasa branquial. El co-transportador involucrado en el mantenimiento de la concentración interna de Cl^- y la bomba ATPasa proporcionado la fuerza motriz a otros sistemas de transporte de iones. Los autores correlacionan la supervivencia de los peces con la función de estas proteínas, señalando niveles altos del co-transportador en organismos aclimatados a agua de mar en comparación con los organismos en agua dulce. Así mismo reconocen los diferentes sitios celulares en los cuales se expresan estas proteínas.

Así entonces, reconociendo que la salinidad es uno de los parámetros ambientales que determina la distribución, el crecimiento y las respuestas fisiológicas de los organismos acuáticos, se considero que las crías de *Poecilia sphenops* y *Poecilia latipinna* se desarrollarían mejor en los centros acuícolas si se les brinda un ambiente salobre "mesohalino", siendo la concentración más adecuada aquella que se ubique cerca de su punto isosmótico.

Por lo anterior el objetivo de la presente investigación es determinar las concentraciones salinas (‰) que favorezcan de mejor manera el desarrollo de las crías de *Poecilia sphenops* y *Poecilia latipinna*. Con este fin se plantean los particulares: reconocer el efecto que ejercen las concentraciones salinas de 0, 6, 9 y 17 ‰ después de 17 días de exposición sobre la tasa de crecimiento absoluto (CA, mg PH d⁻¹) sobre el crecimiento relativo (CR,

%) así como el factor de condición (K). Lo anterior relacionado con las modificaciones sobre el metabolismo aerobio ($\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ PS}$) la eficiencia de extracción de oxígeno (EE,%) y el contenido corporal de agua (H_2O , %).

METODOLOGÍA

Obtención de ejemplares y mantenimiento

Las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* utilizados en la presente investigación se obtuvieron a partir de reproductores mantenidos bajo condiciones de laboratorio (Fig. 1). Las hembras cargadas (ovovivíparas) fueron transportadas y colocadas en acuarios de desove de 60 L de capacidad de agua, en donde las crías así obtenidas permanecieron 15 días antes de iniciar su exposición a las diferentes concentraciones de salinidad (SEPESCA, 1994).

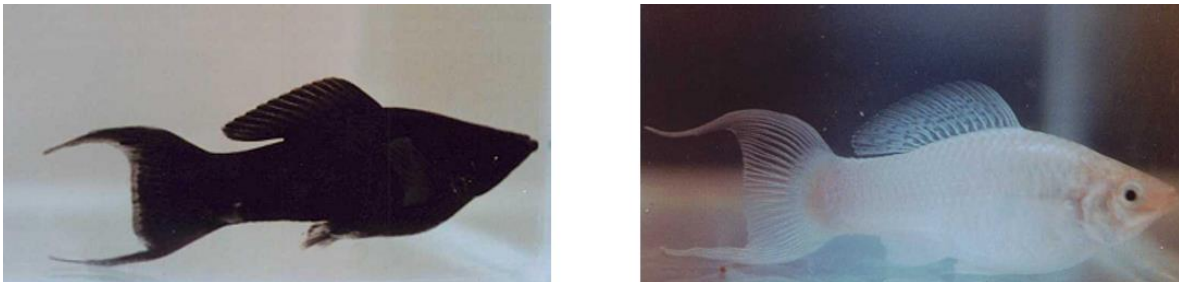


Figura 1. *Poecilia sphenops* (Molly negra, cola de lira) y *Poecilia latipinna* (Molly de aleta gigante, variedad cola de lira). Ambas hembras ♀

Fase experimental

Transcurrido el periodo de mantenimiento, se dio inicio a la fase experimental la cual tuvo una duración de 17 días. En este caso las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* fueron expuestas a tres concentraciones experimentales de salinidad 6, 9 y 17 ‰ equivalentes al 17, 25 y 50% de la salinidad del agua de mar. Un cuarto grupo denominado control consistió en peces expuestos en agua dulce (0‰ de salinidad). Las crías de cada especie se dividieron (por duplicado) en grupos de 15 individuos cada uno, los cuales fueron

colocados al azar en acuarios de 40 L de capacidad de agua equipados con termostato de inmersión y aireación constante.

Durante este periodo, las crías fueron alimentadas tres veces al día a razón del 10% de su peso corporal con alimento peletizado para crecimiento (OTOTTO®, proteína cruda 32 %). Al término de 24 horas de alimentación se retiró el alimento remanente de los acuarios y se hizo recambio del 20% del volumen de agua. Durante las diferentes etapas experimentales se utilizó agua preparada con sal artificial (Instant Ocean®). El agua utilizada fue de clorada y filtrada a través de un filtro biológico y un filtro mecánico; carbón activado y luz UV.

Durante el periodo de mantenimiento y experimental los parámetros fisicoquímicos del agua se mantuvieron constantes. La temperatura en 26°C, el oxígeno disuelto > a 5 mg/L, el pH en 7.80 unidades y el fotoperíodo 12:12 L:O. Estos parámetros se registraron diariamente.

Crecimiento

Al término del periodo experimental de 17 días se determinó la tasa de crecimiento absoluto (CA, mg PS d⁻¹) y el crecimiento relativo (CR,%) de ambos poecilidos (Busacker y col., 1990). Estos fueron estimados a partir del incremento del peso seco (PS, mg) de las crías expuestas a las diferentes concentraciones salinas.

$$CA = [PS_f - PS_i] / t \quad (1)$$

$$CR = (PS_f - PS_i / PS_i) \cdot 100 \quad (2)$$

Cabe señalar que el peso seco inicial de los organismos (PS *i*, mg) se consiguió a partir del modelo lineal peso húmedo- peso seco de una submuestra de 15 organismos tomados al azar al inicio de las pruebas. Por otro lado, el peso húmedo y seco final se obtuvieron de los ejemplares sacrificados al final del procedimiento experimental.

Por su parte el Contenido Corporal de Agua (H₂O, %) se calculó considerando la relación entre el peso húmedo (PH, mg) y el peso seco (PS, mg) de los organismos al final del periodo de exposición y se calculó a partir de la fórmula:

$$H_2O, \% = (PH-PS / PH) \cdot 100(3)$$

El peso seco de los organismos se obtuvo por deshidratación a 60°C en una estufa hasta obtener peso constante. En todos los casos los ejemplares fueron pesados en una balanza analítica OHAUS ($\pm 0.001g$).

Por otro lado, el factor de condición de Fulton (K) (Ricker, 1975) fue estimado para determinar el grado de bienestar o robustez de las crías.

$$K=100 (W/L^3) \quad (4)$$

donde W es el peso corporal seco en gramos y L la longitud en mm. Para este cálculo se asume un crecimiento en las crías de tipo isométrico.

Modelo de ajuste peso-concentración

Al final del periodo experimental se relacionó el crecimiento relativo de los organismos (previamente transformado) con la concentración externa de sal; de esta manera se determinó el modelo matemático que mejor se ajustaba a la distribución de los datos. A partir de estos modelos se calcularon los valores que representan la salinidad más adecuada para el crecimiento de las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna*.

Respuestas fisiológicas

La tasa respiratoria evaluada como consumo de oxígeno ($mg\ O_2\ h^{-1}\ mg^{-1}\ PS$) se determinó considerando el metabolismo de rutina de 10 organismos provenientes de cada condición experimental de salinidad. Estos organismos fueron colocados en cámaras respirométricas individuales después de permanecer en ayuno durante 24 h previas. La tasa respiratoria individual ($mg\ O_2\ h^{-1}$) se determinó a partir de la diferencia entre las concentraciones de oxígeno disuelto inicial $[O_2]_i$ y final $[O_2]_f$ considerando el volumen de las cámaras (V, L) y el tiempo de cerrado (t, h). (Cech, 1990):

$$VO_2 = \frac{([O_2]_i - [O_2]_f) V}{t} \quad (5)$$

Los resultados se corrigieron por los valores en la cámara testigo sin organismo. El consumo de oxígeno de los organismos se relacionó con el peso de los mismos (PS, mg) y se expresó en $mg\ O_2\ h^{-1}\ mg^{-1}\ PS$. Al término de las mediciones de cada grupo experimental los organismos se sacrificaron y se midió su peso húmedo (PH, mg) en la balanza antes mencionada.

La eficiencia de extracción de oxígeno de los ejemplares de *P. sphenops* y *P. latipinna* provenientes de cada condición experimental se calculó a partir de la fórmula:

$$EE, \% = \frac{([O_2]_i - [O_2]_f)}{[O_2]_i} 100 \quad (6)$$

Donde $[O_2]$ es la concentración de oxígeno disuelto ($mg, O_2 /L$) de las muestras de agua. Los subíndices *i* y *f* se refieren al tiempo, inicial y final en que se tomaron las muestras de agua de las cámaras.

Análisis estadístico

Para determinar diferencias significativas entre las respuestas fisiológicas evaluadas se aplicó el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis. Establecidas las diferencias se empleó la prueba de comparación múltiple Newman-Keuls para definir las. El nivel de significancia fue del 95% de confiabilidad ($p < 0.05$) (Zar, 2009).

La relación entre el crecimiento relativo transformado y la concentración externa de sal de los juveniles de *P. sphenops* y *P. latipinna* se calculó a partir del modelo polinomial.

Para el análisis de los datos relativos o porcentuales se utilizó la transformación angular.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las especies eurihalinas se reconocen por su amplio rango de tolerancia fisiológica a los cambios en la concentración salina del ambiente, tal es el caso de los poecílidos *P. sphenops* y *P. latipinna* los cuales después de 17 días de exposición a las diferentes concentraciones de sal presentaron una supervivencia superior al 90% en ambas especies.

En la presente investigación el primer punto a resolver era el posible efecto de la salinidad ambiental sobre el contenido corporal de agua (H_2O , %) de los peces, lo anterior tomando en cuenta que una modificación en este sentido cambiaría la interpretación del resto de las respuestas evaluadas según se indica en cada una de ellas.

Las crías de ambos poecílidos presentaron modificaciones significativas ($p < 0.05$) en el contenido corporal de agua (H_2O , %), observándose una clara disminución en este parámetro como parte de los ajustes morfo-fisiológicos puestos en marcha para hacer frente a las concentraciones externas de sal. En los peces expuestos en agua dulce (libre de sal) el valor corporal de agua fue de 63 y 64% en *P. sphenops* y *P. latipinna* respectivamente. Por otro lado en las concentraciones de 6, 9 y 17 ‰ el contenido corporal de agua se determinó en 61% para *P. sphenops* y de 60% para *P. latipinna* ($p < 0.05$) (Tabla 1).

Tabla 1. Contenido corporal de agua (H_2O , %) de las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* después de 17 días de exposición a 0, 6, 9 y 17 ‰ de salinidad. Se señalan valores promedio \pm Error estándar (ES).

Salinidad, ‰	<i>P. sphenops</i>	<i>P. latipinna</i>
	H_2O , %	H_2O , %
0	63.41 ± 0.50^a	64.58 ± 0.38^a
6	61.54 ± 0.41^b	60.60 ± 0.21^b
9	61.47 ± 0.94^b	59.40 ± 0.75^b
17	61.10 ± 0.32^b	60.08 ± 0.72^b

Letras diferentes denotan diferencias significativas en la columna ($p < 0.05$).

Las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* expuestas en agua dulce se desarrollaron en un medio hiposmótico teniendo que enfrentar el ingreso de agua por ósmosis (aquí evidente en un 63 y 64%) y una pérdida constante de sales por difusión pasiva. La respuesta de los peces en

estas condiciones consiste en producir grandes cantidades de orina, sin embargo esto conlleva la pérdida de iones (principalmente Na^+ y Cl^-) toda vez que su tipo de riñón no tiene la capacidad de reabsorberlos. La toma activa de estos iones en el epitelio branquial les permite contrarrestar su pérdida manteniendo su homeostasis. Por otro lado el reto de las crías expuestas a las diferentes concentraciones salinas fue contrarrestar el ingreso constante de NaCl y la pérdida de agua provocando su deshidratación. Al respecto se observó que si bien disminuye el porcentaje de agua corporal (60 y 61%), este se mantiene constante en las diferentes salinidades, lo que podría demostrar la serie de ajustes iónicos y osmóticos desarrollados por los mismos, esto a partir de cambios celulares y moleculares en sus epitelios de intercambio. De esta manera el nuevo valor hídrico reportado no implica un aspecto negativo o de detrimento del organismo, por el contrario representaría la capacidad de ajuste de estas especies (eurihalinas) aun en etapa de cría.

Las branquias de los peces participan en varias funciones del organismo tales como la regulación osmótica, el intercambio gaseoso, la regulación iónica, el balance ácido base y la excreción de productos nitrogenados (Evans, 1987). Cuando los organismos son expuestos a ambientes salinos, generalmente ocurren cambios a nivel branquial que como órgano blanco, está sujeto a modificaciones tanto a nivel morfológico como fisiológico. Dentro de estos cambios observados en poecílidos, como los Molly se mencionan el incremento en el número de células de cloro localizadas en la membrana basolateral y consecuentemente un aumento en el tamaño de las mismas. Estas células forman pequeños canales a través de sus pliegues, en donde se generan niveles elevados de la Na^+/K^+ ATPasa la cual proporciona la fuerza motriz a otros sistemas de transporte de iones. En esta misma membrana se encuentran asociados los co-transportadores $\text{Na}^+/\text{K}^+/2\text{Cl}^-$ involucrados en el mantenimiento de la concentración interna de Cl^- (Evans, 1975; Yang y col., 2011). Así entonces los autores correlacionan la supervivencia de los peces con la adecuada expresión estas proteínas.

Una vez que en las branquias de las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* experimentaran los cambios morfo-fisiológicos antes descritos para hacer frente a las condiciones salinas de 6, 9 y 17 ‰, podrían presentar un comportamiento similar al esperado en los peces marinos, los cuáles para compensar la pérdida de agua y lograr mantenerla en concentraciones estables (aprox. 60%) beben agua del medio, la cual conservan, eliminando los iones acompañantes de sodio y cloro a través de su excreción en el intestino y en el epitelio branquial por medio de transporte activo. Así entonces el NaCl que se quiere eliminar del agua "bebida" es transportado por la sangre al epitelio branquial, ingresa a las células, a través de los cotransportadores (favorecido por el gradiente de concentración de Na^+). El Na^+ es inmediatamente excretado al medio extracelular a través de la actividad de la ATPasa, por su parte el Cl^- se desplaza hacia la membrana apical que está en contacto con el agua. El Na^+ , también se puede difundir pasivamente desde la sangre hasta el medio

externo, a través de los canales paracelulares y excretarse un ión Na^+ por cada ión Cl^- que es excretado (Prosser, 1991).

Autores como Morgan e Iwama (1998) reportan la modificación en la actividad de la ATPasa Na^+/K^+ branquial, los niveles plasmáticos de cortisol, glucosa y los iones (Na^+ , K^+ , Cl^-), así como la tasa de consumo de oxígeno como indicadores de la energética osmorreguladora en juveniles del salmón *Oncorhynchus kisutch* expuestos a salinidades de 10 y 28‰ durante 6 semanas, indicando al termino de este periodo que las modificaciones en la actividad de la ATPasa Na^+/K^+ efectivamente se relacionan de manera directa con la concentración salina externa. Así mismo reportan como los componentes plasmáticos vuelven a los valores cercanos iniciales a los presentados en agua dulce.

Por su parte Arjona y col. (2007) obtienen respuestas similares después de analizar la respuesta osmoregulatoria en el lenguado senegalés *Solea senegalensis* con la exposición a diferentes salinidades ambientales. Estos autores reportan la relación lineal existente entre la salinidad ambiental y la actividad de de la ATPasa Na^+/K^+ branquial, mencionando al mismo tiempo que esta bomba no se modifica en el riñón. Resalta la observación hecha sobre la presencia de dos periodos osmorregulatorios, un primero de ajuste y un segundo que denomina regulación crónica, ambos basados en las variaciones de la osmolaridad del plasma. La adaptación eficiente del sistema lo relacionan con la estabilidad en los niveles de la osmolaridad del plasma y los iones evaluados al final de la exposición.

En los organismos acuáticos el incremento de la biomasa corporal (peso húmedo) es uno de los parámetros más confiables para medir el crecimiento. Sin embargo, este estimador sólo puede resultar adecuado para medir el crecimiento cuando el contenido corporal de agua no se ve modificado por las condiciones ambientales (Weatherley, 1990). En el presente trabajo, la exposición crónica durante 17 días modificó (disminuyó) el contenido de agua en las crías por lo que se consideró necesario expresar el peso de las mismas como peso seco.

El crecimiento de las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* se vio favorecido por la aplicación de sal marina en el ambiente ($p < 0.05$). En este sentido se determino por un lado que los ejemplares de ambas especies, del grupo libre de sal, presentaban un crecimiento absoluto menor o igual a 2 mg PS d^{-1} mientras que los expuestos al ambiente salino superaban los 2.9 mg PS d^{-1} (Tabla 2). Esta acentuación permitió obtener un crecimiento relativo superior al 300% en las crías de *P. sphenops* del ambiente salino en comparación con el 186% obtenido en los organismos de agua dulce. Por su parte las crías de *P. latipinna* se reconocieron más sensibles al efecto de la salinidad que sus pares las crías de *P. sphenops*.

En este caso los organismos del grupo control alcanzaron un peso seco final de 34.9 mg lo que represento un crecimiento relativo de apenas el 50% respecto al original. Por el contrario, la presencia de la sal en el resto de las concentraciones (6, 9 y 17‰) favoreció un crecimiento relativo superior al 250% en esta especie (Tabla 3).

Tabla 2. Peso Seco inicial y final (PS, mg), tasa de crecimiento absoluto (CA, mg PS d⁻¹) y crecimiento relativo (CR; %) de las crías de *P. sphenops* después de 17 días de exposición a 0, 6, 9 y 17 ‰ de salinidad. Se señalan valores promedio \pm Error estándar

Salinidad, ‰	PS <i>i</i> , mg	PS <i>f</i> , mg	CA, mg PS d ⁻¹	CR, %
0	18.62 \pm 1.20 ^a	53.25 \pm 2.4 ^a	2.0	186
6	17.94 \pm 8.30 ^a	67.80 \pm 3.9 ^b	2.90	279
9	17.10 \pm 0.90 ^a	70.48 \pm 6.5 ^b	2.90	294
17	17.74 \pm 11.3 ^a	81.80 \pm 4.3 ^b	3.50	342

Letras diferentes denotan diferencias significativas en la columna (p<0.05).

Tabla 3. Peso Seco inicial y final (PS, mg), tasa de crecimiento absoluto (CA, mg PH d⁻¹) y crecimiento relativo (CR; %) de las crías de *P. latipinna* después de 17 días de exposición a 0, 6, 9 y 17 ‰ de salinidad. Se señalan valores promedio \pm Error estándar.

Salinidad, ‰	PS <i>i</i> , mg	PS <i>f</i> , mg	CA, mg PS d ⁻¹	CR, %
0	23.20 \pm 1.3 ^a	34.90 \pm 2.8 ^a	0.68	50
6	22.20 \pm 1.6 ^a	78.90 \pm 4.9 ^b	3.33	255
9	22.30 \pm 1.0 ^a	78.10 \pm 4.7 ^b	3.10	236
17	18.87 \pm 1.2 ^a	74.50 \pm 4.9 ^b	3.09	279

Letras diferentes denotan diferencias significativas en la columna (p<0.05).

El aumento en el crecimiento de las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* se puede atribuir a la respuesta positiva de los procesos metabólicos, los cuales permitieron orientar gran parte de la energía disponible a este renglón (observándose el bienestar de las crías), si bien parte de la energía disponible también debió involucrarse en los procesos de osmorregulación.

Una vez que se conto con los valores de Crecimiento Relativo (%) para ambos poecílicos, se procedió a calcular la concentración salina más adecuada para el crecimiento de las crías, esto a partir del modelo polinomial. El valor de la salinidad calculada para las crías de *P.*

sphenops fue de 18‰. Por su parte, para *P. latipinna* la salinidad calculada fue de 13‰ (Fig. 2).

a.- Modelo de *Poecilia sphenops*: $y = -0.2405x^2 + 8.9334x + 100.9$. $R^2 = 0.99$

b.- Modelo de *Poecilia latipinna*: $y = -2.6359x^2 + 70.358x + 114.68$. $R^2 = 0.93$

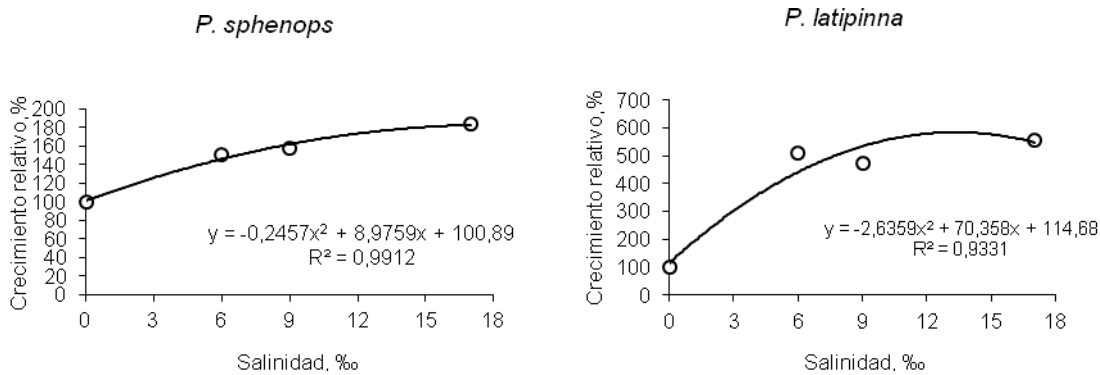


Figura 2. Modelo de ajuste peso-concentración de los juveniles de *Poecilia sphenops* y *P. latipinna* después de 17 días de exposición a 0, 6, 9 y 17 ‰ de salinidad.

En el presente estudio la aplicación de sal marina en el ambiente mejoro de manera significativa el crecimiento de ambos poecilidos, incrementando en un 183% y 558% en *P. sphenops* y *P. latipinna* respectivamente según el contraste realizado con los organismos colocados en agua dulce. Este aspecto acompañado de la supervivencia registrada (>90%) demuestra un estado de bienestar general en los organismos. Lo anterior considerando al crecimiento como una respuesta integradora, como un indicador de amplio espectro sobre las condiciones del ambiente sobre la integridad fisiológica de los organismos (Beamish y col., 1975).

Cabe señalar que las concentraciones salinas recomendadas en el presente trabajo (18 y 13‰) resultan similares a las reportadas para estas y para otras especies en las cuales también se han obtenido buenos resultados cuando se utiliza sal en los acuarios de crecimiento. Snelson (1982) analizando en condiciones de laboratorio las tasas de

crecimiento de machos y hembras de *P. latipinna* en recién nacidos y adultos utiliza de 8 a 10‰ y de 10 a 12‰ en cada talla. Este autor reporta que en recién nacidos el crecimiento es similar en ambos sexos, mientras que en adultos las hembras la hacen más rápido que los machos, finalmente en los organismos maduros el crecimiento es variable.

Por su parte SEPESCA (1994) hace una serie de recomendaciones para el cultivo de *P. velifera*, *P. orri* y *Belonesox belizanos* enfatizando que el éxito de las granjas de cultivo esta en el buen manejo de crías, etapa en la cual se presenta la mayor mortalidad, recomendando de manera general mantener en los estanques una salinidad de 5‰.

Estudios sobre la tolerancia a la salinidad con la finalidad de mejorar las estrategias de incubación, sobrevivencia y crecimiento en las larvas del Pescado blanco *Chirostoma estor estor* demuestran como 10‰ permiten el mejor desarrollo de sus ojos, al tiempo que disminuye la tasa de infecciones por encima de 5‰. Destacando el éxito en la eclosión de los huevos cuando estos son mantenidos en salinidades moderadas 10‰ con la eclosión a 5‰. Respecto a la supervivencia, esta se reporta óptima para el desarrollo del huevo en 10‰, eclosión a 5 y desarrollo posterior nuevamente en 10‰ (Martínez-Palacios y col., 2004).

Otro parámetro evaluado a partir del cual se pudiera obtener información sobre el estado general de los organismos, expuestos en ambientes salinos, fue el factor de condición (*K*). En el caso de *P. sphenops* no se vio modificado en presencia de la sal ($p > 0.05$) con valores de entre 1.36 y 1.41. Caso contrario se observó en las crías de *P. latipinna*, determinándose incrementos significativos en el factor según el medio, pasando de 1.27 a 1.40 (Tabla 4).

Tabla 4. Factor de condición (*K*) de los juveniles de *P. sphenops* y *P. latipinna* expuestos a diferentes concentraciones de salinidad 0, 6, 9 y 17 ‰, durante 17 días. Se señalan valores promedio.

Salinidad, ‰	<i>P. sphenops</i>	<i>P. latipinna</i>
	Factor de condición (<i>K</i>)	Factor de condición (<i>K</i>)
0	1.36 ^a	1.27 ^a
6	1.41 ^a	1.57 ^b

9	1.41 ^a	1.50 ^b
17	1.44 ^a	1.40 ^b

Letras diferentes en la columna denotan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Al evaluar el factor de condición (K) de estos poecílidos, se pretendía reconocer el estado de bienestar de los mismos, esto como resultado del efecto de la salinidad en el ambiente. Para evaluar su condición se considera que valores de K inferiores a 1 indicarían un pez esbelto, mientras que valores superiores a 1.0 indicarían un pez con un cuerpo más robusto o rollizo. Así entonces se determina que las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* presentan un cuerpo promedio con tendencia a rollizo.

En este sentido la tendencia observada en *P. sphenops* a incrementar el valor de K sobre el obtenido en el grupo control y el incremento significativo en *P. latipinna* señala de mejor manera el efecto positivo que tiene un ambiente salino sobre las crías. Este incremento se asocia con la elevada tasa de crecimiento de los organismos, además de la posibilidad de estar almacenando energía como resultado de las condiciones que podrían ser favorables para los organismos.

El consumo de oxígeno es una medida indirecta del metabolismo aerobio de los organismos, reflejando la mayor parte de las reacciones que producen energía para cubrir las funciones globales del organismo; de tal manera, se considera como una medida de integración sencilla de la condición fisiológica de los organismos acuáticos (Fry, 1971).

Después de la exposición a las diferentes concentraciones salinas se observó que la tasa respiratoria de las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* se incrementó conforme aumentaron las concentraciones salinas del exterior ($p < 0.05$). Los organismos de ambas especies de las concentraciones de 0 y 6 ‰ mantuvieron un consumo de oxígeno similar ($p > 0.05$). Por otro lado las crías de *P. sphenops* expuestas a la concentración de 17‰ el incremento en el consumo llegó a ser 31% superior al valor determinado para el grupo control (1.194 mg O₂ h⁻¹mg⁻¹ PS). Por su parte las crías de *P. latipinna* expuestas en la concentración de 9 y 17‰ presentaron un incremento del 24 y 22 % en contraste con el observado en el grupo control (1.16 mg O₂ h⁻¹mg⁻¹ PS) (Tabla 5).

Tabla 5. Consumo de oxígeno ($\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{ PS}$) de las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* después de 17 días de exposición a 0, 6, 9 y 17 ‰ de salinidad. Se señalan valores promedio \pm Error estándar

Salinidad, ‰	<i>P. sphenops</i>	<i>P. latipinna</i>
	VO_2 , $\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{ PS}$	VO_2 , $\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{ PS}$
0	1.194 ± 0.138^a	1.16 ± 0.092^a
6	1.092 ± 0.050^a	1.06 ± 0.068^a
9	1.434 ± 0.140^{ab}	1.44 ± 0.057^b
17	1.571 ± 0.100^{bc}	1.42 ± 0.075^b

Letras diferentes denotan diferencias significativas en la columna ($p < 0.05$).

El incremento observado en el metabolismo aerobio de las crías expuestas a las concentraciones de 9 y 17‰ de salinidad puede ser una respuesta adaptativa que les permita compensar una modificación en el ambiente. La puesta en marcha de los mecanismos compensatorios (en este caso respiratorios) tienen con finalidad cubrir la demanda energética del nuevo estado, lo anterior asociado con un probable aumento en la ventilación branquial y en la frecuencia respiratoria de los organismos. Este incremento en la tasa de consumo permite la energía que involucra la obtención del alimento y los procesos de síntesis de aminoácidos, glúcidos y ácidos grasos. El mantenimiento corporal general, la regulación iónica y osmótica (alteración en el balance hidrosalino), y la locomoción entre otros.

La valoración del consumo de oxígeno como indicador de la actividad metabólica en *Poecilia latipinna* ha demostrado tener resultados confiables. Estudios al respecto incluyen hembras gestantes y no gestantes, en las cuales se analizan las variaciones que experimentan en su actividad metabólica debido a la naturaleza vivípara de la especie (solo un 3% de los teleósteos son vivíparos), lo que les obliga a presentar un periodo de gestación, que si bien favorece la supervivencia de las crías, representa un lapso en el cual la madre debe proveer oxígeno y eliminar productos de desecho, acentuándose esta demanda de manera significativa antes del parto "gestación tardía", momento en el cual los embriones requieren una mayor cantidad de oxígeno, incluso mayor que los reportados para los tejidos de la hembra gestante. (Timmerman y Chapman, 2003).

En correspondencia con la tasa respiratoria, las crías de ambos poecílicos acrecentaron su eficiencia de extracción de oxígeno (EE,%) conforme aumento la cantidad de sal en el ambiente ($p < 0.05$). La Eficiencia de extracción de ambas especies fue similar para los organismos del grupo control (libre de sal), con valores de 10 a 11%, sin embargo a partir

de la primera concentración salina y en adelante, ya se observa el incremento en la eficiencia llegando al 25% en *P. sphenops* y al 19% en *P. latipinna* (Tabla 6).

Tabla 6. Eficiencia de extracción de oxígeno (EE, %) de las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* después de 17 días de exposición a 0, 6, 9 y 17 ‰ de salinidad. Se señalan valores promedio \pm Error estándar

Salinidad, ‰	<i>P. sphenops</i>	<i>P. latipinna</i>
	Eficiencia de extracción de oxígeno, %	Eficiencia de extracción de oxígeno, %
0	11.05 \pm 0.870 ^a	10.40 \pm 0.97 ^a
6	12.60 \pm 0.673 ^a	13.26 \pm 0.53 ^b
9	20.86 \pm 1.250 ^b	19.86 \pm 1.20 ^c
17	25.53 \pm 1.2981 ^c	19.51 \pm 1.19 ^c

Letras diferentes denotan diferencias significativas en la columna ($p < 0.05$).

Este comportamiento similar en ambas respuestas fisiológicas indica que la tasa de extracción de oxígeno compensa el aumento en el consumo de oxígeno; el incremento en la tasa de extracción del gas puede relacionarse con un aumento en los mecanismos de la ventilación branquial, captación, utilización y transporte del oxígeno disponible en el medio.

CONCLUSIONES

La supervivencia de las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* después de 17 días de exposición a 0, 6, 9 y 17‰ de salinidad fue superior al 95%

La disminución observada en el contenido corporal de agua de las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* por efecto de la exposición a 6, 9 y 17‰ durante 17 días permite inferir que la salinidad en el ambiente afecta la permeabilidad de sus membranas. Esta modificación en el balance hidrosalino de las crías puede señalar los posibles cambios morfo-fisiológicos que se ponen en marcha en el epitelio branquial como parte de las respuestas de los organismos eurihalinos. El balance hídrico presentó un valor promedio de 61% en las diferentes salinidades.

La presencia de sal en el ambiente en concentraciones de 6, 9 y 17‰ favorece el crecimiento de las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* en contraste con los ejemplares expuestos en agua dulce. Señalando como en ambientes salinos gran parte de la energía incorporada por el alimento se dirige al rubro de crecimiento, indicando el bienestar que se genera en las crías.

El incremento en la tasa de consumo de oxígeno de las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* en concentraciones mayores a 6 ‰, sugiere una respuesta adaptativa de compensación ante la modificación de su entorno, que le permite obtener la energía necesaria para el mantenimiento y crecimiento de las crías. Incluido su eficiencia de captación de oxígeno del medio.

En las concentraciones salinas de 18 y 13‰, calculadas a partir del modelo polinomial, se podrían esperar las mejores tasas de crecimiento para las crías de *P. sphenops* y *P. latipinna* respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte de las actividades del Cuerpo Académico de "Ecotoxicología Ambiental" con clave BUAP-CA-201

BIBLIOGRAFÍA

Arjona, F. Vargas-Chacoff, Ruiz-Jarabo, Martín del Río, and J. Mancera (2007). Osmoregulatory response of Senegalese sole (*Solea senegalensis*, Kaup 1858) to changes in environmental salinity. *Comp. Biochem. Physiol. A*, 148. pp. 413–421

Beamish F., Nimi J. and Leet P. (1975). Bioenergetic of teleost fishes: Environmental influence. *In: Bolis L, Madreell HP y Schmidt-Nielsen K. eds. Comparative Animal Functional. Aspects of Structural Materials. Amsterdam: North- Holland Pub. Co.*

Busacker G., Adelman R. and Goolish M. Growth. En: Schreck C. and Moyle B. eds. *Methods for Fish Biology*. USA: *Am. Fish. Soc.*, 1990: 363-387

Cech J. Respirometry. En: Schreck C. y Moyle B. eds. *Methods for Fish Biology*. USA: *Am. Fish. Soc.*, 1995: 335-362.

Evans D. 1975. The effects of various external cations and sodium transport inhibitor on sodium uptake by the Saifin Molly, *Poecilia latipinna*, acimated to sea water. *J. Comp. Physiol.* 96: pp. 111-115

Evans D. (1987). The Fish Gill: Site of Action and Model for Toxic Effects of Environmental Pollutants. *Environmental Health Perspectives.*, 71: 47-58.

Froese, R. y D. Pauly. Editores. (2016). FishBase. Publicación electrónica de la World Wide Web. www.fishbase.org, (06/2016).

Fry F. (1971). The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: Hoar WS y Randall J.D. eds. *Fish Physiology*. London: Academic Press, 1971; Vol. VI: 1-98.

Gibson M. and B. Hurst. (1955). The effect of salinity and temperature on the pre-adult growth of guppies. *Copeia*, (3): 241- 245.

Martínez-Palacios C.A., Morte J.C., Tello-Ballinas J.A., Toledo-Cuevas M., Ross L.G. (2004). The effects of saline environments on survival and growth of eggs and larvae of *Chirostoma estor estor* Jordan 1880 (Pisces:Atherinidae). *Aquaculture*. 238:509-522

Morgan J.D. and Iwama G.K. 1998. Salinity effects on oxygen consumption, gill Na⁺,K⁺-ATPase and ion regulation in juvenile Coho salmon. *J. Fish Biol.* 53: pp. 1110-1119.

NatureServe. (2013). *Poecilia latipinna*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T191748A18234549. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T191748A18234549>. in. 16 September 2016.

Prosser L. (1991) *Environmental and Metabolic Animal Physiology*. N. Y.: Willey-Liss. 578 pp.

Ramírez, M., R. Mendoza, C. Aguilera (2010) *Estado actual y perspectivas de la producción y comercialización de peces de ornato de agua dulce en México. 1ra edición. Universidad Autónoma de Nuevo León UANL, Instituto Nacional de Pesca INP. Monterrey, México*

Ricker, W. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin Fisheries Research. Board of Canada*. 191: 382 pp.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación (SAGARPA). (2016) Consultado 08-09-2016 en <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/peces-de-ornato-bellos-y-recreativos>.

Secretaría de Pesca, Subsecretaría de Fomento y Desarrollo Pesqueros. Dirección General de Acuicultura. (1994). *Desarrollo Científico y Tecnológico para el Cultivo de Peces de Ornato*. Cultivo de Peces de Ornato. Convenio SEPESCA/CIQRO

Snelson F. F. Jr. (1982). Indeterminate growth in males of the sailfin molly, *Poecilia latipinna*. *Copeia*. 2 pp. 296-304.

Timmerman, C. M. & L. J. Chapman. (2003). The Effect of Gestational State on Oxygen Consumption and Response to Hypoxia in the Sailfin Molly, *Poecilia latipinna*. *Environ. Biol. Fish.* 68: pp 293-299.

Tomasso J. (1996). Environmental requirements of aquaculture animals: a conceptual summary. *World Aquatic*. (2): 27-31.

Yang WK, Kang CK, Chen TY, Chang WB, Lee TH. 2011. Salinity-dependent expression of the branchial $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{2Cl}^-$ cotransporter and Na^+/K^+ -ATPase in the sailfin molly correlates with hypoosmoregulatory endurance. *J Comp Physiol B* 181:953–964

Weatherley A. (1990). Approaches to understanding fish growth. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119. pp. 662-672.

Zar, J. H. (1999). *Biostatistical Analysis*. 4th edition. Prentice- Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA.