

Efecto de la 17 α -metiltestosterona y zanahoria deshidratada en la expresión de caracteres sexuales secundarios y de interés productivo de *Melanotaenia boesemani* en condiciones de laboratorio

Gabriel Ricardo Campos Montes¹, Daniela Pérez Hernández¹,
Thania Medrano Mendoza¹, Psique Victoria Rivero Martínez¹ y
David Alberto Martínez Espinosa^{1*}

Resumen. Se evaluó la inclusión de 17 α -metiltestosterona y zanahoria deshidratada en la dieta de *Melanotaenia boesemani*, para determinar mejoras en la supervivencia (16 a 90 y 90 a 250 días), largo patrón, porcentaje de organismos con patrón de color propio de los machos y extensión de color amarillo en la región caudal. Se distribuyeron 480 alevines en cuatro tratamientos con cuatro réplicas cada uno. Los tratamientos fueron Control (Alimento comercial), MT (Alimento comercial con 17 α -metiltestosterona), Control con Zanahoria y MT con Zanahoria. No se registró diferencia entre los tratamientos en las supervivencias ($P > 0.5$), y MT fue el que presentó el mayor largo patrón a los 90 y a los 250 días ($P < 0.05$). Los grupos que recibieron las dietas MT y MT con Zanahoria presentaron mayor porcentaje de machos aparentes y MT/Zanahoria presentó mayor extensión de color que MT. El uso de MT con Zanahoria es una alternativa para mejorar la comercialización de *M. boesemani*.

Palabras clave: *Melatoenia boesemani*, Acuicultura ornamental, 17 α -metiltestosterona, Zanahoria, Caracteres sexuales secundarios.

Abstract. The inclusion of 17 α -methyltestosterone and dehydrated carrot in *Melanotaenia boesemani* diet was evaluated on survival (16 to 90 and 90 to 250 days), standard length, percentage of organisms with a color pattern typical of males and a yellow extension in the caudal region

¹ Laboratorio de Sistemas Acuícolas, Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

* e-mail*: maed4024@correo.xoc.uam.mx

of these. 480 fingerlings were distributed in four treatments with four replicates each. The treatments were control (commercial food), MT (commercial food with 17 α -methyltestosterone), control with carrot and MT with carrot. There was no difference among the treatments in survival ($P > 0.05$) and MT was which one that presented the longest standard length at 90 and 250 days ($P < 0.05$). The groups that received MT and MT with carrot diets presented higher percentage of apparent males and MT/Carrot presented greater color extension than MT. The use of MT with carrot is an alternative to improve the trade of *M. boesemani*.

Key words: *Melatoenia boesemani*, Ornamental acuículture, 17 α -metiltestosterona, Carrot, Secondary sexual characters.

INTRODUCCIÓN

Las pequeñas empresas rurales son parte fundamental para el desarrollo del campo, de ahí la importancia de aquellas que hacen uso de recursos naturales acuáticos para el cultivo de peces, ya sea para fines alimentarios u ornamentales, debido a que han venido aumentando en número (Lujan, 2018). Por otro lado, los peces ornamentales han recibido una creciente demanda internacional, con el consecuente crecimiento de la exportación, por lo que estos cultivos contribuyen al mejoramiento del sector rural de países en desarrollo (Monticini, 2010; Raja *et al.*, 2014). Dichos cultivos han sido reconocidos y proyectados como una actividad de baja inversión con retorno económico estable, que pueden ser adoptados por segmentos de la población con bajos ingresos, además de ser una opción para la generación de empleos en zonas rurales (Lujan, 2018; Nightingale *et al.*, 2017).

En México, la demanda de peces dulceacuícolas destinados al ornato ha tenido un importante crecimiento, al mismo tiempo que la producción ha aumentado de manera consistente desde principios de siglo, alcanzando arriba de 60 millones de organismos en 2018, lo que generó ingresos económicos de 120 millones de pesos (delegación SADER Yucatán, 2018). La acuicultura ornamental nacional está enfocada principalmente en la producción de especies dulceacuícolas, que generalmente es realizada en unidades de producción ubicadas en zonas rurales, caracterizándose por ser poco tecnificadas y producir múltiples especies (Matus *et al.* 2017; Martínez-Espinosa *et al.* 2013).

En este sector productivo, el precio de venta de los organismos se encuentra en función de la especie, la talla y sus características estéticas, principalmente el color (Goodwin, 1984; Ramírez *et al.*, 2010), siendo este último, uno de los elementos más relevantes al momento de la comercialización, sobre todo en especies en las que el dimorfismo

sexual es evidente, por lo que el macho es más llamativo para los acuariofilicos, lo que incrementa su valor en el mercado y dificulta la venta de las hembras (Ramee *et al.*, 2020).

Por otro lado, algunas especies ornamentales requieren de largos períodos de cultivo para alcanzar la talla y apariencia necesaria para tener su mejor precio. Tal es el caso del pez arcoíris (*Melanoaenia boesemani*), que es una especie de cuerpo alargado y comprimido, cabeza pequeña, aleta dorsal grande dividida en dos y una aleta anal extendida de la punta de las aletas pélvicas hasta el pedúnculo caudal; los machos presentan un patrón de color en tonos azules en la parte craneal del cuerpo y tonos amarillos en la mitad caudal, mientras que las hembras presentan una coloración menos atractiva, lo que reduce su valor comercial (Imagen 1). La coloración amarilla de lo machos suele presentarse después de que alcanzan una talla aceptable de venta, lo que obliga a un mayor periodo de cría (Allen y Cross, 1980; Nugraha *et al.*, 2015).

Imagen 1. Hembra (A) y Macho (B) de *Melanoaenia boesemani*



Fotografía: Archivo del Laboratorio de Sistemas Acuícolas, UAM-Xochimilco.

Al ser una actividad poco capitalizada, la acuicultura ornamental (Martínez *et al.*, 2010) requiere buscar alternativas que permitan mejorar las condiciones para la comercialización de los organismos producidos. Una de ellas es el uso de 17 α -metiltestosterona (MT) adicionada a la dieta, antes o durante el periodo de diferenciación sexual, la cual, además de tener un efecto positivo en el crecimiento de los peces, incrementa el porcentaje de organis-

mos con caracteres morfológicos masculinos, incluida la coloración propia de los machos (Lee *et al.*, 2017). La MT es de uso habitual en especies ornamentales con dimorfismo sexual evidente, como el *Poecilia reticulata* o *Xiphophorus helleri* (Turan *et al.*, 2006; Mousavi-Sabet y Ghasemnezhad, 2013; Haitham *et al.*, 2017), lo que permite mejorar el precio de venta de los organismos comercializados. Por otra parte, la adición de pigmentos en las dietas permite mejorar la coloración de la piel y de las aletas en los organismos, lo cual tiene un efecto positivo en el valor comercial de los peces ornamentales, por lo que las xantofilas y los carotenoides son regularmente utilizados en la actividad acuícola, ya que son compuestos que los peces no pueden sintetizar (Gouveia *et al.*, 2003; Robaina *et al.*, 2017).

Una de las alternativas para la implementación de los carotenoides a bajo costo en la acuicultura ornamental, es la inclusión de zanahoria deshidratada adicionada a la dieta, ya que presenta un alto contenido de β -carotenos y favorece la intensidad y presencia de tonos naranjas (Velasco y Gutiérrez, 2019; Pereira Da Costa *et al.*, 2020; Orrego y Martin, 2021).

Considerando los efectos sobre el crecimiento y expresión de caracteres sexuales secundarios, asociados a la utilización de $17\ \alpha$ -metiltestosterona en acuicultura, así como la respuesta en la coloración de los peces por el aprovechamiento de β -carotenos presentes en la zanahoria, el objetivo de este trabajo es evaluar la inclusión de estos elementos en la dieta de *Melanotaenia boesemani* sobre el largo patrón, el porcentaje de organismos con características masculinas y la extensión del color amarillo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Manejo de los organismos

Este estudio se realizó en el Laboratorio de Sistemas Acuícolas de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Se utilizaron 400 alevines, provenientes de una población generada a partir de apareamientos naturales de 60 machos y 60 hembras de *Melanotaenia boesemani*. Los alevines fueron alimentados *ad libitum* después de la absorción del saco vitelino (a partir del segundo día), con microgusano (*Panagrellus* sp) durante 13 días. A los 16 días post-eclosión, se establecieron cuatro tratamientos con cuatro réplicas cada uno, para lo cual se utilizaron acuarios de 40 litros. En cada uno de ellos se colocaron aleatoriamente 30 organismos. Los acuarios se colocaron en estantes con tres niveles, los cuales presentaron diferencias de temperatura de 1°C promedio.

A partir de los 210 días de edad, en virtud del crecimiento de los organismos, la población de cada réplica fue transferida a acuarios de 80 l, colocados en 6 sistemas verticales de recirculación con 3 niveles, cuya diferencia de temperatura máxima entre niveles fue de 1°C. La colocación de las réplicas se hizo de manera aleatoria. Durante todas las fases del experimento, los parámetros de calidad de agua en los acuarios se mantuvieron dentro del rango óptimo para la especie (temperatura entre 25° y 27° C, pH entre 7 y 8, y NH_4 , NO_3 y NO_2 debajo de 0.01 ppm).

Dietas

Se utilizaron cuatro dietas diferentes: Como tratamiento control (Control) se utilizó alimento comercial (Silver Cup ®), con 50% de proteína y 16% de grasa, con un tamaño de partícula <0.4 mm); el segundo tratamiento fue alimento comercial (Silver Cup ®), adicionado con 17 α -metiltestosterona en una concentración de 60 mg/Kg (MT), con las mismas características nutricionales de la dieta Control; la tercera dieta consistió en una mezcla de 70% de alimento Control y 30% de zanahoria deshidratada (Control/Zanahoria), y para el cuarto tratamiento, la dieta consistió en 70% de alimento MT y 30% de zanahoria deshidratada (MT/Zanahoria).

Posteriormente, de los 90 y hasta los 250 días, en los tratamientos de MT y MT/Zanahoria se reemplazó el alimento con MT por alimento comercial sin MT (Silver Cup ®), con 45% de proteína y 16% de grasa, con un tamaño de partícula 1.5 mm, cada dieta fue administrada *ad libitum*.

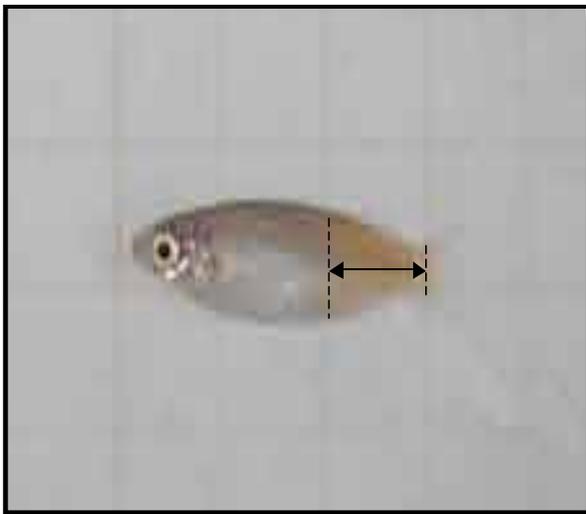
Obtención de la información

A los 90 y 250 días de edad, se midió el largo patrón (distancia entre la punta de la boca y la base de la aleta caudal) de cada uno de los organismos sobrevivientes, y se obtuvo la supervivencia en cada acuario a partir del número de organismos al final de cada etapa dividido entre el número de organismos sembrados al inicio de ésta.

A los 250 días post-eclosión, se determinó el sexo de los organismos, considerando como macho aparente a aquellos organismos que presentaron el patrón básico de coloración del macho propio de *Melanotaenia boesemani*, es decir, con el cuerpo de color azul o gris en la parte anterior y amarillo en la parte posterior, y como hembra aparente a los organismos que no lo presentaron (Imagen 1). Además, de cada macho aparente, se mi-

dió (cm) sobre la línea media la parte del cuerpo con coloración amarilla, característica de los machos, desde la base de la aleta caudal hasta donde la coloración amarilla fuera homogénea (Imagen 2). La extensión de color se obtuvo como el porcentaje del cuerpo con coloración amarilla con respecto al largo patrón.

Imagen 2. Puntos de referencia utilizados para la medición de la extensión del color amarillo en machos de *Melanotaenia boesemani*



Análisis de la información

Las diferencias entre tratamientos se analizaron con el siguiente modelo mixto:

$$y_{ijkl} = \mu + D_i + N_j + A_k + e_{ijkl}$$

donde: y_{ijkl} es la variable de respuesta (Largo patrón o extensión de color), D_i es el efecto del i -ésimo tratamiento (Control, MT, Control/Zanahoria, MT/Zanahoria), N_j corresponde al bloque del j -ésimo nivel del sistema de acuarios (Arriba, Medio, Abajo), A_k es el efecto aleatorio de k -ésimo acuario y e_{ijkl} corresponde al residuo aleatorio ($0, \sigma^2 \sim N$). La supervivencia por etapa se analizó utilizando el mismo modelo, pero sin considerar el efecto del acuario. En los casos donde se detectaron diferencias significativas ($\alpha < 0.05$) se utilizó una prueba de Tukey.

Para analizar la proporción de machos aparentes se utilizó una prueba de X^2 de homogeneidad de proporciones. Así mismo para las diferencias entre cada par de dietas, pero considerando un ajuste de Bonferroni por el número de comparaciones simultáneas ($\alpha_{\text{Bonferroni}} = 0.008$).

RESULTADOS

En términos generales, en el periodo de los 16 a los 90 días de edad, la supervivencia general fue de 91.2% y el largo patrón a los 90 días fue de 2.4 cm. Mientras que, entre los 90 y 250 días de edad se obtuvo una supervivencia poblacional de 96.9% y el largo patrón a los 250 días de edad de 3.4 cm. En cuanto a los caracteres sexuales secundarios se obtuvo un 66.4% de machos aparentes, lo cual fue diferente ($P > 0.05$) a la proporción esperada de 50% de cada sexo. Los machos aparentes tuvieron un promedio general de 30.5% en la Extensión del color. Los efectos de nivel en el estante o en el sistema de recirculación, según sea el caso, no fueron significativos para el largo patrón, la distribución de color ni la supervivencia. En el Cuadro 1, se presenta la estadística descriptiva.

Cuadro 1. Estadística descriptiva de supervivencia, largo patrón y caracteres sexuales secundarios en *Melanotaenia boesemani* alimentados con dietas adicionadas con 17 α -Metiltestosterona y zanahoria deshidratada

Tratamiento	Supervivencia (%)		Largo patrón (cm)		Caracteres sexuales secundarios	
	16 a 90 días	90 a 250 días	90 días	250 días	Machos aparentes (%)	Distribución de color (%)
Control	91.6 \pm 2.5 ^A	95.3 \pm 2.4 ^A	2.3 \pm 0.1 ^B	3.5 \pm 0.03 ^{AB}	40.0 ^C	30.3 \pm 1.2 ^{AB}
MT	92.5 \pm 2.5 ^A	96.9 \pm 2.4 ^A	2.6 \pm 0.1 ^A	3.5 \pm 0.03 ^A	85.7 ^A	27.5 \pm 1.0 ^B
Control/Zanahoria	90.8 \pm 2.5 ^A	92.5 \pm 2.4 ^A	2.1 \pm 0.1 ^B	3.4 \pm 0.03 ^{BC}	57.0 ^B	31.7 \pm 1.1 ^{AB}
MT/Zanahoria	90.0 \pm 2.5 ^A	97.1 \pm 2.4 ^A	2.4 \pm 0.1 ^B	3.3 \pm 0.03 ^C	78.0 ^A	32.4 \pm 1.0 ^A
Media general	91.2	96.9	2.4	3.4	66.4	30.5

MT = Alimento con 17 α -Metiltestosterona (60 mg/Kg).

El sexo aparente fue determinado por la presentación del patrón de color propio de los machos. Literales diferentes dentro de columna indican diferencia significativa ($P < 0.05$), excepto para Machos aparentes donde se consideró $P < 0.008$.

Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre las dietas en la supervivencia de los 16 a los 90 días, ni en la supervivencia de los 90 a los 250 días ($P > 0.05$). El caso del largo patrón a los 90 días del grupo de peces alimentados con MT fue 12.8 % en promedio, superior a aquellos alimentados con las otras dietas ($P < 0.05$). En tanto que, a los 250 días de edad, los organismos que recibieron la dieta de MT/Zanahoria tuvieron un Largo Patrón 5.7 % inferior con respecto a los organismos que recibieron la dieta MT y la dieta Control ($P < 0.05$).

En cuanto a los caracteres sexuales secundarios, se puede observar que los grupos que recibieron las dietas MT y MT/Zanahoria presentaron mayor porcentaje de machos aparentes (43.4 % y 37.8 %, respectivamente) sin presentar diferencias entre estas dietas ($P = 0.409$), pero sí con las dietas a las que no se les adicionó 17 α -Metiltestosterona. En cuanto a la extensión del color, se encontró diferencia entre los organismos que recibieron la dieta MT y los que recibieron la dieta MT/Zanahoria; esta diferencia representa una ventaja de 15.1 % a favor de aquellos organismos que recibieron la dieta MT/Zanahoria ($P < 0.05$).

DISCUSIÓN

Supervivencia

Los resultados obtenidos en este estudio muestran supervivencias iguales o superiores a 90 % en las 4 dietas sin que se detectaran diferencias en la supervivencia de 16 a 90 días, ni de 90 a 250 días, lo cual es consistente con los resultados presentados por Liu *et al.* (2021), quienes en una población de peces mandarín (*Siniperca chuatsi*) suministraron, durante 2 meses, dietas con dosis de 50 mg/kg y 100 mg/kg de 17 α -metiltestosterona, sin registrar diferencias significativas en la tasa de supervivencia (alrededor de 70 %) de los grupos tratados con MT y los grupos control.

En contraste con los resultados de este estudio, Abduh *et al.* (2020), que utilizaron MT en pez payaso (*Amphiprion ocellaris*) en el período que va de la eclosión hasta los 60 días de edad, registraron un incremento significativo en la supervivencia de 85 % a 100 % frente al grupo control al utilizar 30 mg/kg y 60 mg/kg, disminuyendo la supervivencia a 70 % al duplicar la dosis. Mousavi-Sabet *et al.* (2012) no observaron diferencias significativas en peces guppy (*Poecilia reticulata*) para la supervivencia entre el grupo control y una dosis de 10 mg/kg, sin embargo, las tasas de mortalidad en dosis mayores 20 - 200 mg/kg fueron significativamente superiores a los otros grupos. Esta disminución tam-

bién se observó en el estudio de Mousavi-Sabet y Ghasemnezhad (2013) con pez espada (*Xiphophorus helleri*), y en el realizado con el cíclido amarillo eléctrico (*Labidochromis caeruleus*), que de acuerdo con Karsli *et al.* (2018) al pasar de 20 mg/kg a 60 mg/kg la supervivencia cambio de 82.2% al 64.4%.

Las dietas Control/Zanahoria y MT/Zanahoria no presentaron diferencias significativas con respecto a las dietas Control y MT respectivamente, por lo que es posible inferir que la inclusión de Zanahoria no representó un efecto sobre la supervivencia. Estos resultados son concordantes con el trabajo de Kop *et al.* (2010) en cíclidos (*Cichlasoma severum*), donde la inclusión de zanahoria en la dieta no representó pérdidas en la supervivencia.

Largo patrón a los 90 y 250 días post eclosión

Los grupos que recibieron las dietas Control y Control/Zanahoria presentaron un incremento en el largo patrón entre ambas mediciones (90 y 250 días), de 52.2% y 61.9%, respectivamente, y fueron mayores con respecto a la dieta MT, la cual presentó un crecimiento de 34.6%, mientras que la dieta MT/Zanahoria presentó un 37.5%, lo anterior podría indicar que al retirar la MT de la dieta se redujo la velocidad de crecimiento de los peces, lo que revelaría la importancia de probar los protocolos con un mayor tiempo de uso de la MT.

A los 90 días de edad, los organismos que recibieron la dieta de MT presentaron un mayor largo patrón (12.7% superior) que el resto de las dietas, aunque esta diferencia se diluye al retirarse la hormona de la dieta (2% superior), pero manteniéndose a los 250 días la diferencia significativa ($P < 0.05$) entre MT y MT/Zanahoria. La respuesta en el crecimiento está relacionada con la especie en la que se administra la MT, por ejemplo, Liu *et al.* (2021) reporta que la talla de peces mandarín (*Siniperca chuatsi*) es mayor en ausencia de MT, mientras que Karsli *et al.* (2018) reporta un mayor crecimiento en cíclido amarillo eléctrico (*Labidochromis caeruleus*) por el uso de MT en la dieta. Por otra parte, en el pez tetra del Congo (*Micraleptus interruptus*) no se presentaron diferencias en el crecimiento con dosis de 0.2 y 3 mg/l de MT aplicadas por inmersión (Irfan *et al.*, 2020). Estas diferencias estarían explicadas por las diferencias fisiológicas entre especies, el período de aplicación y las dosis utilizadas en los diferentes estudios.

En el largo patrón a los 250 días no se presentaron diferencias ($P > 0.05$) entre los grupos Control y Control/Zanahoria, este resultado concuerda con lo presentado por Kop *et al.* (2010) en el cíclido Heros (*Cichlasoma severum*) al evaluar el efecto de la in-

clusión de zanahoria por 50 días en la dieta, sobre el peso de juveniles de esta especie. También son consistentes con los resultados presentados por Wassef *et al.* (2010) en la comparación de la adición de zanahoria y de pimiento rojo en dietas de dorada (*Sparus aurat*). También se detectó una diferencia significativa entre la talla de los peces de MT y MT/Zanahoria, con medias de largo patrón de 3.5 ± 0.03 y 3.3 ± 0.03 , respectivamente. Lo anterior, posiblemente es explicado por las diferencias iniciales en la siembra del segundo periodo (90 días post eclosión), ya que la tasa de incremento de talla promedio fue similar (34% para MT y 37.5% para MT/Zanahoria).

Caracteres sexuales secundarios

La proporción de machos aparentes a los 250 días fue mayor para las dietas MT y MT/Zanahoria, sin diferencias entre ellas ($P=0.409$). En ambas dietas se registró un porcentaje de machos aparentes mayor a 75%, a diferencia de los organismos que recibieron las dietas Control y Control/Zanahoria ($P<0.008$), cuya proporción de machos aparentes no fue diferente de 50% ($P>0.05$), siendo este porcentaje esperado para la distribución de sexos en condiciones naturales. Estos resultados son consistentes con otros estudios, en los que la implementación de MT permite un porcentaje de reversión sexual hasta de 100%, incrementando la presencia de patrones de color asociados a los machos. Ejemplo de lo anterior, son los estudios realizados por Mousavi-Sabet *et al.* (2012) en *Poecilia reticulata*, el de Karsli *et al.* (2018) en cíclido amarillo eléctrico (*Labidochromis caeruleus*) y el realizado por Liu *et al.* (2021) en peces mandarín (*Siniperca chuatsi*), quienes, a partir de dosis mayores de MT a las utilizadas en este estudio, alcanzaron una reversión sexual de 100%.

La ventaja del uso de la zanahoria deshidratada sobre la proporción de amarillo en el cuerpo del pez no es del todo clara, dado que si bien esta variable en la dieta MT/Zanahoria fue 17.8% superior a la dieta MT ($P<0.05$), ambas dietas no presentaron diferencia significativa con las dietas Control y Control/Zanahoria. Nuestros resultados difieren con los presentados por Kop *et al.* (2010) en cíclido Heros (*Cichlasoma severum*), en el que, a partir de la evaluación por espectrofotometría, lograron determinar que los peces que recibieron zanahoria en la dieta presentaron una mayor retención de carotenos en músculo y piel, así como una coloración más intensa de acuerdo al análisis de imágenes digitales que realizaron. Por otro lado, Ramamoorthy *et al.* (2010) reportaron una mayor intensidad en la coloración de peces payaso (*Amphiprion ocellaris*), utilizando zanahoria en la dieta, comparado contra un grupo control y otras fuentes de pigmentos como la harina de flor de caléndula (*Calendula officinalis*). Estos resultados podrían estar

relacionados con la proporción de hembras masculinizadas en MT y MT/Zanahoria; en donde las primeras no recibieron suficientes carotenos en la alimentación para acumularlos en piel (Robaina *et al.*, 2017), pero las segundas sí, lo que se reflejó en la diferencia entre estos dos grupos, mientras que en Control y Control/Zanahoria sólo fue obtenida esta variable en machos.

CONCLUSIONES

El uso de alimento adicionado con 17 α -metiltestosterona en *Melanotaenia boesemani* brinda ventajas en el largo patrón y la supervivencia de 90 a 250 días post eclosión, además de incrementar la proporción de organismos con el patrón de color de machos, lo que se puede reflejar en mejores condiciones para la comercialización de esta especie. No fue posible determinar con claridad si existen ventajas por el uso de zanahoria deshidratada en la dieta para el largo patrón y supervivencia, pero mejoró la distribución de color en los organismos que recibieron 17 α -metiltestosterona en la dieta, lo que supone una mejor probabilidad de venta por la mejora en la calidad estética del pez. Es recomendable profundizar en estudios para optimizar el uso de la 17 α -metiltestosterona y de carotenos en esta especie.

BIBLIOGRAFÍA

- Abduh, Y. *et al.* (2020), "Producing false clownfish (*Amphiprion ocellaris*) male broodstock by administering 17 α -methyltestosterone to protandrous hermaphrodite juveniles", en *Aquac Aquar Conserv Legis*, 13(2): 746-759.
- Allen, R. y Cross, J. (1980), "Description of five new rainbowfishes (*Melanotaeniidae*) from New Guinea", en *Rec. West. Aust. Mus.*, 8(3): 379-381.
- Delegación SADER Yucatán, 2018. Yucatán entre los principales productores de peces de ornato. Visto el 21 de marzo de 2019, en <https://www.gob.mx/agricultura/yucatan/articulos/yucatan-entre-los-principales-productores-de-peces-de-ornato?idiom=es>.
- Goodwin, W. (1984), *The Biochemistry of carotenoids. Volume II. Animals*, Nueva York: Chapman y Hall.
- Gouveia, L. *et al.* (2003), "Colouring ornamental fish (*Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*) with microalgal biomass", *Aquac. Nutr*, 9(2): 123-129.
- Haitham, G. *et al.* (2017), "The extent to which immunity, apoptosis and detoxification gene expression interact with 17 alpha-methyltestosterone", en *Fish Shellfish Immunol*, 60: 289-298.
- Irfan, M., Abdullah, N. y Papatungan, F. (2020), "Effect 17 α -Metiltestosterone hormone with different dosage to percentage male sex, absolute weigh growth, and survival to Congo tetra fish (*Micraleptus interruptus*)", en *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 13(2): 391-402.
- Karsli, Z. *et al.* (2018), "The effect of hormone (17 α -Methyltestosterone, 17 β -Estradiol) usage on development, sex inversion and pigmentation of electric yellow cichlid (*Labidochromis caeruleus* Fryer, 1956)", en *Appl. Ecol. Environ. Res.* 16 (6): 8093-8103.
- Kop, A., Durmaz, Y. y Hekimoglu, M. (2010), "Effect of natural pigment sources on colouration of cichlid (*Cichlasoma severum* sp. Heckel, 1840)", en *J Anim Vet Adv*, 9(3): 566-569.
- Lee, .L. *et al.* (2017), "Histological and transcriptomic effects of 17 α -methyltestosterone on zebrafish gonad development", en *BMC genomics*, 18(1): 1-19.
- Liu, S. *et al.* (2021), "Production of neo-male mandarin fish *Siniperca chuatsi* by masculinization with orally administered 17 α -methyltestosterone", en *Aquaculture*, 530: 735904.
- Lujan, M. (2018), *Acuicultura de peces ornamentales: oportunidad de desarrollo para las comunidades*. AQUAHOY: Portal de Información de Acuicultura. Lima, Perú 2018. Recuperado en febrero de 2019 de: <https://www.aquahoy.com/el-acuicultor/31352->

- acuicultura-de-peces-ornamentales-oportunidad-de-desarrollo-para-las comunidades.
- Martínez, D., Malpica, A. y Hernández, J. (2010), "Estructura de la producción de la piscicultura de ornato del estado de Morelos y su relación con la diversidad de la oferta", en *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 10(20).
- Martínez, D., *et al.* (2013), "Análisis de los factores que condicionan la idoneidad de la estructura productiva de las granjas acuícolas de peces de ornato del estado de Morelos", en *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 13(25): 93-114
- Matus, J., Martínez, D. y Sánchez, J. (2017), "¿Es posible una economía verde en la acuicultura morelense?", en *Administración y Organizaciones*, 20(38): 35-59.
- Monticini, P. (2010), *The Ornamental Fish Trade. Production and Commerce of Ornamental Fish: technical-managerial and legislative aspects*. FAO: GLOBEFISH Research Programme, Vol. 102, Roma, Recuperado en marzo de 2019 de: <http://www.fao.org/3/a-bb206e.pdf>.
- Mousavi, H. y Ghasemnezhad, H. (2013), "Masculinization, mortality and growth rates of swordtail *Xiphophorus hellerii* (Poeciliidae) affected by methyltestosterone", en *Poeciliid Research*, 3(1): 7-16. Disponible en: <http://www.pr.bioflux.com.ro>.
- Mousavi, H. *et al.* (2012), "Sex reversal, mortality rate and growth of guppy (*Poecilia reticulata*) affected by 17-alpha methyltestosterone", en *Poeciliid Research*, 2(1): 1-8. Disponible en: <http://www.pr.bioflux.com.ro/>
- Nightingale, B. *et al.* (2017), "A producer company - An ideal value chain model for ornamental fish trade", en *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(6): 115-120.
- Nugraha, .F. *et al.* (2015), "Genetic diversity of Boeseman's Rainbowfish (*Melanotaenia boesemani*) reared in Indonesian farms compared to endangered natural populations", en *Trop. Conserv. Sci.* 8(3): 796-812.
- Orrego, O. y Martin, A. (2021), "Técnicas emergentes de extracción de β -caroteno para la valorización de subproductos agroindustriales de la zanahoria (*Daucus carota* L.): una revisión", en *Informador técnico*, 85(1): 83-106.
- Pereira, D. y Campos, F. (2020), "The use of carotenoid pigments as food additives for aquatic organisms and their functional roles", en *Reviews in Aquaculture*, 12(3): 1567-1578.
- Ramírez, C., Mendoza, R. y Aguilera, C. (2010), *Estado actual y perspectivas de la producción y comercialización de peces de ornato de agua dulce en México*. México: UANL.
- Ramamoorthy, K. *et al.* (2010), "Proximate composition and carotenoid content of natural carotenoid sources and its colour enhancement on marine ornamental fish *Amphiprion ocellaris* (Cuveir, 1880)", en *WJFMS* 2(6): 545-550.

- Ramee, W. *et al.* (2020), "The effect of dietary 17 α -methyltestosterone administration on secondary sex coloration in adult female Rosy Barbs and Dwarf Gouramis", en *J World Aquacult Soc.* 51(5): 1119-1131.
- Raja S. *et al.* (2014), "Potential of ornamental fish culture and marketing strategies for future prospects in India", en *Int.J.Biosci.Nanosci*, 1(5): 119-125.
- Robaina, L *et al.* (2017), *Carotenoides en piensos para acuicultura y calidad de peces de cultivo. En Carotenoides en agroalimentación y salud. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo – CYTED.* México: Editorial Terracota.
- Turan, F., Çek, Ş. y Atik, E. (2006), "Production of monosex male guppy, *Poecilia reticulata*, by 17 α -methyltestosterone", en *Aquac. Res.*, 37(2): 200-203.
- Velasco, J. y Gutiérrez, M. (2019), "Aspectos nutricionales de peces ornamentales de agua dulce", en *Revista politécnica*, 15(30): 82-93.
- Wassef, A. *et al.* (2010), "Effect of two natural carotenoid sources in diets for gilthead seabream *Sparus aurata*, on growth and skin coloration", en *J. Appl. Aquac* 2(3): 216-229.