

BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 33, Número 1



Enero - Junio 2018
Callao, Perú



CRECIMIENTO Y TASAS FISIOLÓGICAS DE CHITA *Anisotremus scapularis* (Tschudi, 1846): BASES TÉCNICAS PARA CULTIVO

GROWTH AND PHYSIOLOGICAL RATES OF PERUVIAN GRUNT *Anisotremus scapularis* (Tschudi, 1846): TECHNICAL BASES FOR CULTIVATION

Jhon Dionicio-Acedo¹
Fernando Galecio-Regalado²

Maryandrea Rosado-Salazar¹
Arturo Aguirre-Velarde¹

RESUMEN

DIONICIO-ACEDO J, ROSADO-SALAZAR M, GALECIO-REGALADO F, AGUIRRE-VELARDE A. 2018. Crecimiento y tasas fisiológicas de chita *Anisotremus scapularis* (Tschudi, 1846): Bases técnicas para cultivo. *Bol Inst Mar Perú*. 33(1): 79-89.- El presente estudio proporciona información sobre el crecimiento y tasas fisiológicas (consumo de oxígeno, consumo de alimento y excreción de amonio) así como del tamaño óptimo de partícula de alimento para *A. scapularis* (chita) en condiciones de laboratorio a diferentes temperaturas de aclimatación. Los resultados obtenidos muestran que tiene un crecimiento similar cuando son cultivados a 17 y 22 °C, alcanzando tallas mínimas de captura (24 cm) en 24 y 22 meses de cultivo, respectivamente. Además, las tasas fisiológicas de *A. scapularis* a 22 °C fueron significativamente mayores ($p < 0,05$), respecto a 17 y 14 °C. Estos resultados indican que probablemente los procesos metabólicos de la especie se encuentren en un rendimiento sub-óptimo en individuos acondicionados a 22 °C. En el estadio incipiente de las investigaciones acuícolas en *A. scapularis*, estos resultados servirán como línea base para el dimensionamiento o adaptación de la infraestructura experimental o piloto así como para su manejo en sistemas de cultivo. En este sentido, una mayor inversión energética en procesos de mantenimiento podría comprometer la energía disponible para el crecimiento. Este estudio permite identificar retos productivos para lograr un paquete acuícola que genere el impulso de una actividad de cultivo productiva.

PALABRAS CLAVE: *Anisotremus scapularis*, ecofisiología, cultivos marinos, modelamiento, aclimatación

ABSTRACT

DIONICIO-ACEDO J, ROSADO-SALAZAR M, GALECIO-REGALADO F, AGUIRRE-VELARDE A. 2018. Growth and physiological rates of Peruvian grunt *Anisotremus scapularis* (Tschudi, 1846): Technical bases for cultivation. *Bol Inst Mar Perú*. 33 (1): 79-89.- We worked with *Anisotremus scapularis* under laboratory conditions at different acclimatization temperatures (14, 17 and 22 °C). The results provide information on growth and physiological rates (oxygen and feed consumption, ammonia excretion) and optimal particle size of food. The species presented similar growth at 17 and 22 °C, reached the minimal catch size (24 cm) in 24 months at 17 °C and 22 months at 22 °C. Physiological rates at 22 °C were significantly higher ($p < 0.05$) in comparison with 17 and 14 °C. These results indicate that probably the metabolic processes of the species are found with a sub-optimal performance in individuals conditioned at 22 °C. In that sense, greater energy investment in maintenance processes could compromise the energy available for growth. This study allow us to identify productive challenges in order to develop an aquaculture package that generates the impulse of the cultivation of this species.

KEYWORDS: *Anisotremus scapularis*, ecophysiology, marine cultures, modeling, acclimatization

1. INTRODUCCIÓN

La chita *Anisotremus scapularis* (Tschudi) es una especie bentopelágica marina (CHIRICHIGNO y CORNEJO 2001) que forma cardúmenes en zonas con hidrodinamismo moderado sobre formaciones rocosas, arrecifes y sustratos duros (FISHBASE 1999). Se distribuye sobre el borde oriental del océano Pacífico, desde Antofagasta en el norte de Chile hasta Manta en Ecuador incluyendo la costa peruana (CHIRICHIGNO y CORNEJO 2001). En los mercados locales, esta especie tiene buena aceptación debido a sus cualidades gastronómicas alcanzando un valor de comercialización relativamente elevado (mínimo S/. 20.00/Kg).

Los desembarques de *A. scapularis* presentan variabilidad inter-anual importante oscilando entre 87 y

274 TM en los últimos 10 años (PRODUCE 2015). Con el objetivo de asegurar una explotación sostenible del recurso la talla mínima de captura es de 24 cm (EL PERUANO 2016).

Actualmente, la acuicultura marina en el Perú está orientada principalmente a la producción de langostino *Penaeus vannamei* Boone y concha de abanico *Argopecten purpuratus* (Lamarck) (PRODUCE 2016). Con el fin de ampliar la frontera productiva acuícola, el Estado peruano viene promoviendo la investigación e innovación en tecnología para que nuevas especies se integren a la actividad acuícola nacional. En el Plan Nacional de Desarrollo Acuícola se ha considerado a *A. scapularis* como una especie con potencial para la acuicultura en el país (PRODUCE 2016).

1 Laboratorio de Ecofisiología Acuática, Instituto del Mar del Perú (Imarpe), Esquina Gamarra y General Valle S/N, Chucuito, Callao, Perú. jdionicio@imarpe.gob.pe, mrosado@imarpe.gob.pe, aaguirre@imarpe.gob.pe

2 Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Av. La Molina S/N, La Molina, Lima, Perú

En este horizonte, el Instituto del Mar del Perú-IMARPE viene realizando investigaciones sobre la biología productiva (IMARPE 2015). A partir del 2014 se han conseguido desoves de forma rutinaria en condiciones de laboratorio (IMARPE 2015³) habiéndose realizado la descripción del desarrollo embrionario (MONTES *et al.* 2015).

Sin embargo, el conocimiento necesario para generar un paquete tecnológico de cultivo se encuentra aún en desarrollo, es preciso conocer el efecto de la interacción de las variables ambientales (temperatura, oxígeno disuelto, pH, entre otros) sobre los procesos fisiológicos/metabólicos claves en el crecimiento y reproducción de la especie.

Una de las variables clave en la producción de peces es la temperatura, al influir sobre los organismos (BRETT y GROVES 1979, ÁRNASON *et al.* 2009) afectan sus procesos metabólicos (IBARZ *et al.* 2003). Dentro de un rango térmico de tolerancia los organismos poiquiloterms, como los peces, incrementan sus tasas fisiológicas con el aumento de la temperatura y viceversa (FRY 1971).

La estimación de las tasas fisiológicas es útil para elaborar planes de manejo (determinación de la ración y frecuencia alimenticia, manejo de la calidad de agua, programación de la producción, etc.). Además, la fisiología y el modelamiento matemático son herramientas que permiten el desarrollo de tecnologías acuícolas, permitiendo diseñar, dimensionar y optimizar la infraestructura.

En este trabajo se aporta al conocimiento de la fisiología de *A. scapularis* abordando el efecto de la temperatura sobre el crecimiento y las tasas fisiológicas (consumo de alimento y de oxígeno, así como excreción de amonio).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

ACLIMATACIÓN

Quinientos juveniles de *A. scapularis* (talla <10 cm) provenientes de desoves en cautiverio (Laboratorio de cultivo de peces, IMARPE) fueron acondicionados en un tanque de fibra de vidrio de 340 L conectado a un sistema de recirculación, con densidad de 1,4 ind/L.

El sistema de recirculación estuvo constituido por una bomba electromagnética de agua de 3/4 HP, un filtro mecánico-biológico (Bubble bead filters) con

un volumen de material filtrante (biobolas) de 170 L, una bomba de calor de 3 HP para el control de la temperatura y un esterilizador UV de 80 watts. En el tanque, la aireación fue mantenida constante por medio de una piedra difusora.

En el sistema de recirculación los juveniles fueron aclimatados a 18 °C. El registro de parámetros (saturación de oxígeno disuelto y temperatura) fue realizado diariamente con un multiparámetro HI-9828 de la marca HANNA. La alimentación de los peces fue realizada con una dieta comercial para peces marinos de la marca ОТОИМЕ (proteína al 48% y 14,5% de lípidos, tamaño de partícula 2 mm), proporcionándose a saciedad en dos raciones al día (08:00 y 14:00 horas). El periodo de aclimatación tuvo una duración de 20 días, periodo en el cual la mortalidad de los peces se redujo a 0%.

CRECIMIENTO

El crecimiento de juveniles fue evaluado en tres cultivos simultáneos correspondientes a tres temperaturas contrastadas (14, 17 y 22 °C) durante 296 días. Luego del acondicionamiento, 150 juveniles fueron seleccionados con talla inicial de 9,80 ± 0,23 cm, los que fueron repartidos al azar en tres tanques de fibra de vidrio de 2 m³ de capacidad cada uno, obteniéndose densidad inicial de 50 peces/tanque.

Con la finalidad de evitar estrés térmico en los peces, cada tanque estuvo conectado a un sistema de recirculación cuya temperatura inicial fue similar a la temperatura de aclimatación (18 °C). Posteriormente, la temperatura fue programada a 14, 17 y 22 °C (tratamientos). La tasa de variación de la temperatura fue de 1 °C/día.

Alimentos para peces marinos de la marca Otohime del tipo EP2, EP4 y EP6 (Tabla 1) fueron utilizados de acuerdo al crecimiento de los peces. La alimentación fue realizada a saciedad dos veces al día.

Tabla 1.- Composición proximal del alimento entregado a juveniles de *A. scapularis* y tamaño de partícula en función de la longitud de los peces

Código	Forma	Tamaño del alimento (mm)	Proteína cruda (%)	Lípido crudo (%)	Ceniza cruda (%)
EP2	Extruido	2,3	48	14,5	14
EP4	Extruido	4,1	48	14,5	15
EP6	Extruido	6	48	14	15

3 IMARPE. 2015. Laboratorio de Cultivo de Peces (en línea). Revisado en http://www4.imarpe.gob.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I0170050101000000000000

Los muestreos para el seguimiento de crecimiento fueron realizados cada 30 ± 1 días. Todos los individuos de cada tanque fueron muestreados. Un ictiómetro ($\pm 0,1$ cm) y una balanza de precisión ($\pm 0,01$ g) fueron utilizados para el registro de la longitud total (cm) y peso (g). Previo a los muestreos, los peces fueron dejados en ayunas por espacio de 24 horas.

Mediante el método de residuos cuadrados no lineales (GAMITO 1998) se estimaron los parámetros de crecimiento (VON BERTALANFFY 1934) en cada tratamiento térmico según la fórmula:

$$L_t = L_{\infty}(1 - \exp^{-k(t-t_0)})$$

Dónde:

L_t : Longitud esperada a la edad t ; L_{∞} : longitud máxima promedio; k : Parámetro de curvatura y t_0 : edad teórica a la cual el tamaño es cero.

Para el ajuste del modelo se fijó la longitud asintótica L_{∞} a un valor referencial de 40 cm (FISHBASE 1999).

Además, se estimó la curva de crecimiento en peso, a partir de la relación talla-peso para un rango amplio de tallas de *A. scapularis*.

RELACIÓN TALLA-PESO

Se evaluó la isometría del crecimiento en *A. scapularis* durante el experimento en cada temperatura (14, 17 y 22 °C) mediante una relación potencial de talla-peso:

$$P = aL^b$$

Donde P es el peso (g), L es la longitud total (cm), b es el exponente de la ecuación y a es la densidad del organismo ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

Se utilizaron mediciones de peso y talla complementarios al experimento para completar el rango de tallas observado en la especie.

TAMAÑO ÓPTIMO DE PARTÍCULA DE ALIMENTO

La relación entre el tamaño de partícula del alimento artificial óptimo y la longitud total del pez se obtuvo utilizando 61 individuos de *A. scapularis* de diferentes tallas.

Dos medidas bucales fueron realizadas (dorso-ventral y latero-lateral) en cada individuo, utilizando un vernier de plástico (resolución $\pm 0,1$ mm). Un modelo lineal del diámetro promedio bucal (D_B) en función de la longitud del individuo (L) fue efectuado según la ecuación:

$$D_B = aL + b$$

Luego, dos ecuaciones fueron obtenidas a partir de los parámetros a y b representando el 50 y 60% del diámetro promedio de boca:

$$D_{50\%} = 0,5 * (aL + b)$$

$$D_{60\%} = 0,6 * (aL + b)$$

El rango obtenido representa el diámetro óptimo de partícula para un pez en función de su longitud total (DABROWSKI y BARDEGA 1984).

TASA DE CONSUMO DE ALIMENTO

La alimentación fue proporcionada diariamente, dos veces al día (8:00 y 14:00 horas) a saciedad aparente. La cantidad de alimento consumido fue calculado mediante la diferencia entre el peso del alimento contenido en un recipiente antes y después de alimentar a los peces en cada temperatura de experimentación (14, 17 y 22 °C). La tasa de consumo de alimento por individuo (TCA) de *A. scapularis* fue estimada de la siguiente manera:

$$TCA = \frac{AC}{N * t}$$

Dónde:

TCA: Tasa de consumo de alimento ($\text{g}_{\text{alimento}} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$), AC: Alimento consumido (g), N : número de individuos, t : el tiempo en días.

La estimación de la relación entre TCA y longitud de los peces fue modelada mediante una regresión no lineal siguiendo el modelo potencial:

$$TCA = aL^b$$

Donde:

a : Tasa de consumo de alimento por unidad de superficie ($\text{g}\cdot\text{día}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$), L : Longitud de los peces (cm), b : valor de la potencia

TASA DE CONSUMO DE OXÍGENO (VO_2)

La estimación de consumo de oxígeno (VO_2) del metabolismo de rutina se realizó durante el seguimiento de crecimiento en distintos periodos para su evaluación a distintas tallas. Las mediciones respirométricas se efectuaron en tres cámaras herméticas (10 L), dos fueron las réplicas (cada cámara con un individuo) y una cámara fue el control (cámara sin individuo). Las cámaras se colocaron dentro de un acuario acrílico de 160x60x35 cm (largo, ancho y alto) el cual contó con agua saturada de oxígeno

(100%) y regulación de la temperatura de acuerdo al tratamiento correspondiente (14, 17 y 22 °C).

Un sistema automatizado basado en el microcontrolador electrónico (Arduino) fue utilizado para realizar mediciones sucesivas del consumo de oxígeno. Este sistema permitió establecer dos fases: (1) la de incubación, donde el agua circuló en circuito cerrado dentro de la cámara respirométrica, registrándose constantemente el agotamiento del oxígeno disuelto dentro de la misma; (2) la fase de recambio, la cual consistió en el cambio de agua al interior de la cámara respirométrica con la finalidad de recuperar la saturación al 100% de oxígeno consumido en la fase de incubación. La programación del tiempo para la fase de incubación y el recambio variaron de acuerdo a la temperatura y tamaño de los individuos (entre 20 a 30 minutos para la incubación y entre 15 a 25 minutos para el recambio). Los peces fueron dejados en ayuno por 24 horas antes de cada medición para evitar el efecto del incremento de la tasa metabólica causada por la digestión y asimilación del alimento.

La concentración de oxígeno en las cámaras fue medida mediante un oxímetro óptico de cuatro canales de alta sensibilidad (OXY mini 4) programados para registrar datos de saturación cada minuto. Cada prueba tuvo duración de 24 horas, realizándose entre 25 y 35 mediciones (de acuerdo al tiempo programado para la incubación y el recambio). Para el análisis de datos se descartaron las primeras tres (3) horas de medición debido al estrés causado por la manipulación de los peces y la aclimatación en la cámara. Una vez terminada la prueba se determinó la longitud total (cm), el peso (g) y el volumen del individuo (L).

Una regresión lineal de las mediciones permitió determinar la pendiente ($\Delta O_{sat} \Delta t^{-1}$) que fue utilizada para hallar la tasa de consumo de oxígeno por individuo (VO_2 ; $mgO_2 \text{ ind}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (AGUIRRE-VELARDE *et al.* 2016).

$$VO_2 = \frac{TCO_{\text{peces}} - TCO_{\text{ct}}}{n}$$

Donde:

TCO_{peces} : Tasa de consumo de oxígeno en la cámara respirométrica con individuos ($mgO_2 \text{ h}^{-1}$); TCO_{ct} tasa de consumo de oxígeno en la cámara respirométrica del grupo control y n : número de individuos.

La estimación de la relación entre la VO_2 y la longitud de los peces fue modelada de acuerdo a la regresión no lineal (modelo potencial):

$$VO_2 = aL^b$$

Donde:

a : Tasa de consumo de oxígeno por unidad de superficie ($mgO_2 \cdot h^{-1} \cdot cm^{-2}$), L : Longitud de los peces (cm), b : valor de la potencia

EXCRECIÓN DE AMONIO

Para este experimento se utilizó un nuevo grupo de individuos de la especie en estudio procedentes de cautiverio, cuyo rango de talla estuvo comprendido entre 7 y 30 cm. Los peces fueron aclimatados en dos grupos diferentes, a 16 y 22 °C en tanques de 250 L equipados con sistema de recirculación, aireación constante y fotoperiodo natural. La aclimatación a ambas temperaturas fue realizada durante 7 días. Las temperaturas de aclimatación fueron obtenidas mediante un descenso o incremento gradual de 1 °C.día⁻¹. Durante este periodo, los peces fueron alimentados con la dieta comercial para peces marinos (Otohime) una vez al día. La alimentación fue suspendida 72 horas antes del experimento para evitar la excreción amoniaca debido al catabolismo de los nutrientes de la dieta.

Las mediciones de la tasa de excreción de amonio ($NH_3 + NH_4^+$) fueron realizadas en dos tanques de fibra de vidrio con capacidad de 300 L, uno con peces y el otro control. Ambos tanques fueron llenados con 60 L de agua de mar, se les colocó aireación y un enfriador de agua para mantener la temperatura a 16 y 22 °C. Tres peces fueron medidos, pesados y colocados en el tanque correspondiente. Las pruebas tuvieron una duración de 24 horas (periodo de acumulación de amonio). La concentración de amonio en los tanques al inicio y final de la experimentación fue determinada por fluorimetría (KÉROUEL y AMINOT 1997) usando un equipo AquaFluor Turner Designs.

La excreción de amonio (EA_x) se calculó de la siguiente manera:

$$EA_x = \frac{V * (C_f - C_i) - V_c * (C_{fc} - C_{ic})}{t * X}$$

Donde:

C_f : concentración final de amonio en el tanque con peces (μMol), C_i : concentración inicial de amonio en el tanque con peces (μMol), C_{fc} : concentración final de amonio en el tanque control (μMol), C_{ic} : concentración inicial de amonio en el tanque control (μMol), V : volumen de agua del tanque con peces (L), V_c : volumen de agua del tanque control (L), t : tiempo (h), X = número de individuos: para el cálculo de la Excreción de Amonio Individual ($EAI - \mu\text{Mol} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) y X = biomasa(g): para el cálculo de la Excreción de Amonio Específica ($EAE - \mu\text{Mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$).

La curva potencial estimada entre la EA y la longitud de los peces fue modelada de acuerdo a la regresión no lineal (modelo potencial):

$$EA = aL^b$$

Donde:

a: Tasa de excreción de amonio por unidad de superficie ($\mu\text{Mol.h}^{-1}.\text{cm}^{-2}$), *L*: Longitud de los peces (cm), *b*: valor de la potencia

3. RESULTADOS

CRECIMIENTO

Los resultados del modelamiento del crecimiento indican que existe mayor valor del parámetro *k* en los peces cultivados a 17 y 22 °C (Tabla 2). También indican que los peces cultivados a 17 y 22 °C alcanzarían la talla mínima de captura (24 cm) entre los 22 y 24 meses de cultivo, respectivamente; sin embargo, a 14 °C la talla mínima sería alcanzada después de 77 meses de cultivo (Fig. 1a). Además, la estimación de la curva de crecimiento en peso, muestra que el valor asintótico estaría alrededor de 1,44 kg para individuos cultivados en condiciones controladas (Fig. 1b).

Tabla 2.- Parámetros obtenidos para la Ecuación de Crecimiento de von Bertalanffy (ECVB) en juveniles de *A. scapularis* cultivados a 14, 17 y 22 °C

	Temperatura		
	14°C	17°C	22°C
<i>K</i> (año ⁻¹)	0,0975 ±0,006	0,281 ±0,0126	0,303 ±0,0191
<i>t</i> ₀ (año)	-2,94 ±0,231	-1,63 ±0,074	-0,99 ±0,086

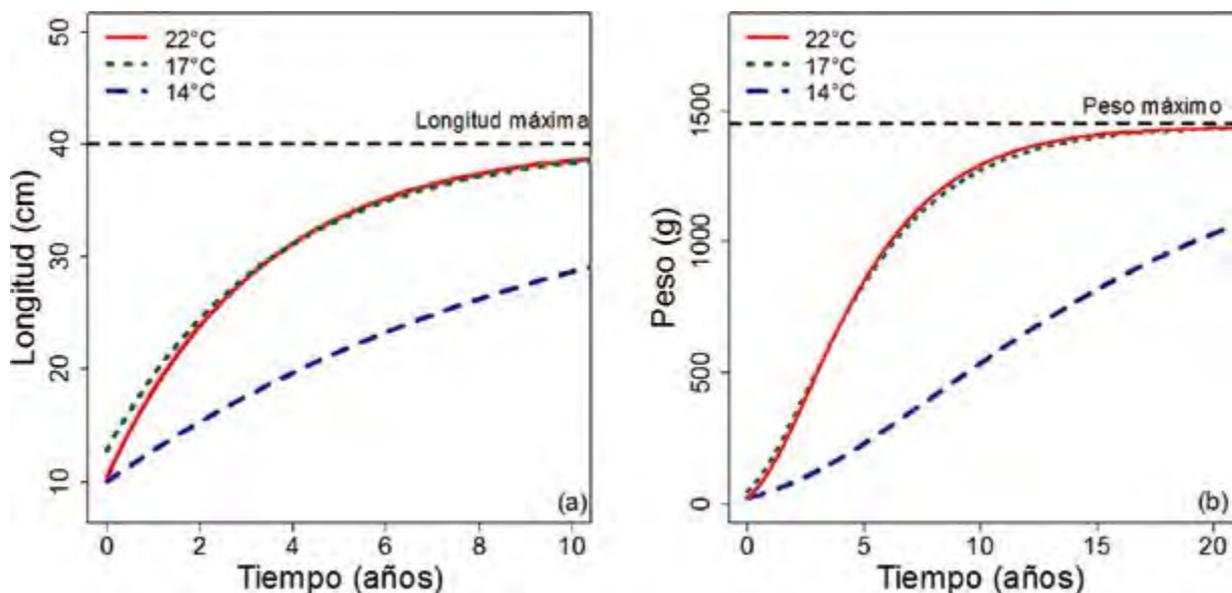


Figura 1.- (a) Curva de crecimiento de von Bertalanffy, (b) Relación talla-peso de juveniles de chita (*A. scapularis*) cultivadas a tres temperaturas (14, 17 y 22 °C)

RELACIÓN TALLA-PESO

La relación talla-peso de la especie no muestra diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los modelos potenciales para los tres tratamientos (14, 17 y 22 °C); por lo que se ajustó a un solo modelo que integra el total de datos. El parámetro *b* del modelo revela un crecimiento marcadamente isométrico (*b* igual a 3, $p < 0,05$) (Fig. 2).

TAMAÑO ÓPTIMO DE PARTÍCULA DE ALIMENTO

Las mediciones de boca (latero-lateral y dorso-ventral) en la especie determinaron que no es significativamente diferente ($p > 0,05$) a una circunferencia. Además, la modelización del tamaño de boca (mm) en función de la longitud corporal (cm) se puede explicar con la ecuación lineal $D_b = 0,651L + 2,7119$ con $r^2 = 0,98$ ($p < 0,05$).

Se observó la tendencia lineal para el rango de tamaño óptimo de la partícula alimenticia que corresponde al intervalo comprendido entre el 50 y 60% del diámetro bucal en función de la longitud corporal de *A. scapularis* (Fig. 3).

Estos modelos permitieron estimar los valores del tamaño del alimento en función de un rango de talla de la especie comprendida entre 5 y 26 cm (Tabla 3).

TASA DE CONSUMO DE ALIMENTO EN JUVENILES DE *A. SCAPULARIS*

Durante el experimento los peces aceptaron el alimento extruido diariamente. En todas las tallas, se determinó mayor consumo de alimento (CA) en

los peces cultivados a mayor temperatura (22 °C). La relación potencial entre el consumo de alimento y la talla fue semejante de forma significativa a un modelo cuadrático ($p < 0,05$, $b = 2$); las potencias obtenidas fueron 2,23; 2,28 y 1,99 para los peces cultivados a 14, 17 y 22 °C, respectivamente (Fig. 4a). Estos resultados permitieron estimar una tabla de la tasa de alimentación a las temperaturas experimentadas en función de la longitud total de *A. scapularis* (Tabla 4).

CONSUMO DE OXÍGENO

Curvas potenciales (no lineales) del consumo de oxígeno (VO_2) en función de longitud ($VO_2 \sim aL^b$) fueron estimadas para las tres temperaturas (14, 17 y 22 °C) donde se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) de los valores potenciales (b) de la ecuación para cada tratamiento. Además se observó mayor efecto de la temperatura sobre el VO_2 a mayor talla corporal (Fig. 5).

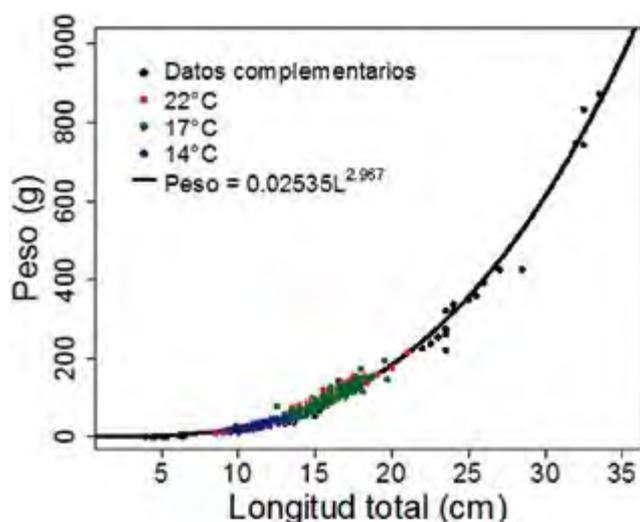


Figura 2.- Relación talla-peso de juveniles de chita (*A. scapularis*) cultivadas a tres temperaturas (14, 17 y 22 °C). Los puntos negros representan los datos complementarios y el modelo (curva negra) representa el crecimiento isométrico

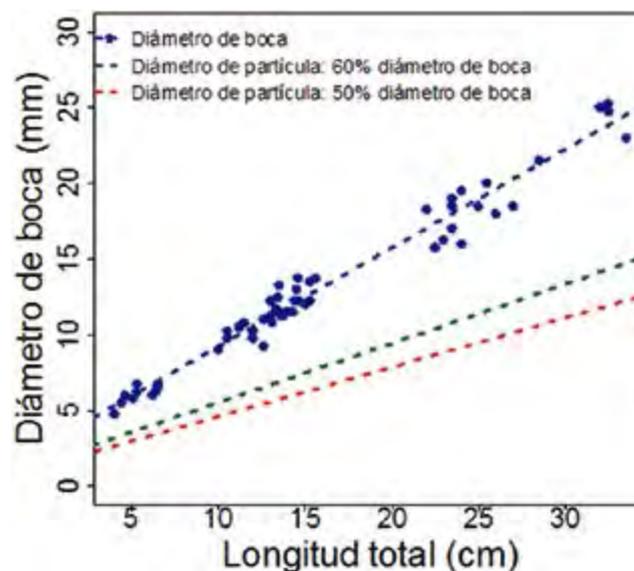


Figura 3.- Relación lineal del diámetro de boca (mm) y longitud corporal (cm) de *Anisotremus scapularis*. Líneas punteadas verdes indican el diámetro de partícula del alimento considerando al 60% del diámetro bucal de la especie. Líneas punteadas rojas indican el diámetro de partícula del alimento considerando al 50% del diámetro bucal de la especie

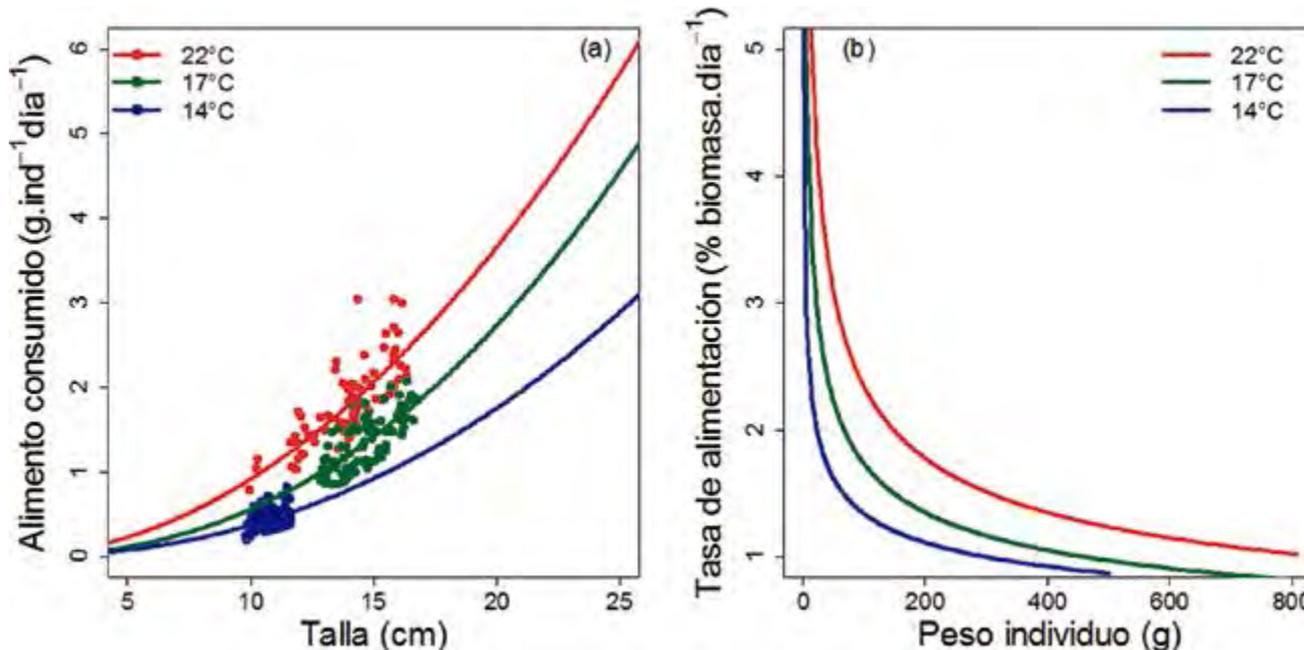


Figura 4.- (a) Curva de consumo de alimento ($g \cdot ind^{-1} \cdot día^{-1}$) en función a la talla (cm), (b) curva de la tasa de alimentación (TA - % biomasa. $día^{-1}$) en función al peso corporal (g), en juveniles de chita (*Anisotremus scapularis*) cultivados a 14, 17 y 22 °C

Tabla 3.- Diámetro de boca y de la partícula de alimento al 50 y 60% del diámetro de boca en la longitud total de *Anisotremus scapularis*

Longitud total (cm)	Diámetro de boca (mm)	Diámetro de partícula (mm)	
		50 % diámetro de boca	60 % diámetro de boca
5	5,96	2,98	3,58
8	7,92	3,95	4,75
11	9,87	4,94	5,92
14	11,82	5,91	7,09
17	13,78	6,89	8,26
20	15,73	7,87	9,43
23	17,68	8,84	10,61
26	19,64	9,82	11,78

Tabla 4.- Tasa de alimentación (% biomasa) de *A. scapularis* a diferentes tallas y peso a 14, 17 y 22 °C de cultivo

Longitud (cm)	Peso (g)	Tasa de alimentación (% biomasa)		
		14 °C	17 °C	22 °C
5	2,17	3,66	5,31	10,62
8	10,28	2,21	3,29	5,75
11	29,41	1,58	2,38	3,79
14	65,20	1,22	1,86	2,76
17	123,78	0,98	1,53	2,14
20	211,69	0,83	1,29	1,73
23	335,80	0,72	1,12	1,44
26	503,36	0,63	0,99	1,23

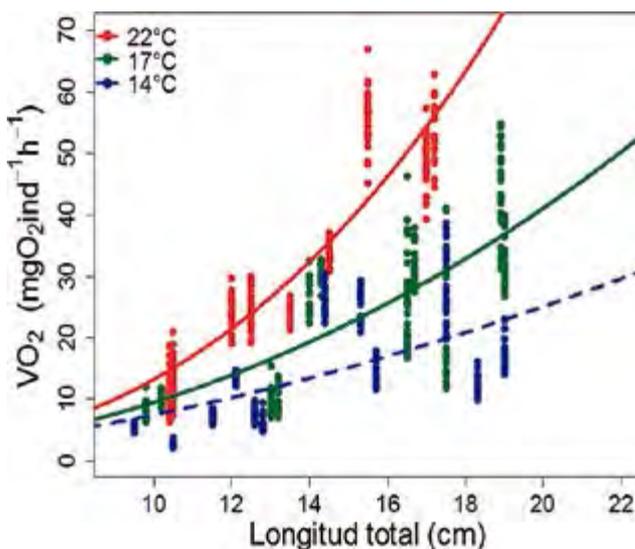


Figura 5.- Tasa de consumo de oxígeno ($VO_2 - mgO_2.ind^{-1}.h^{-1}$) en función a la talla (cm) en juveniles de chita (*A. scapularis*) cultivados a (14, 17 y 22 °C). Las ecuaciones del consumo de oxígeno (VO_2) obtenidas fueron $VO_2 (14 °C) = 0,1326L^{1,7498}$, $VO_2 (17 °C) = 0,07208L^{2,11828}$ y $VO_2 (22 °C) = 0,02837L^{2,667918}$

TASA DE EXCRECIÓN DE AMONIO

Los resultados permitieron estimar la relación potencial de la excreción de amonio por individuo en función de la talla (Fig. 6). Las ecuaciones estimadas fueron $0,12705L^{1,95159}$ y $0,04771L^{2,50071}$ a 17 y 22 °C, respectivamente.

Entre ambas temperaturas, en el rango de tallas entre 8 y 10 cm, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en la excreción de amonio. Sin embargo, en los individuos de mayor tamaño (entre 20 y 22 cm) se obtuvo mayor tasa de excreción de amonio en individuos a 22 °C respecto a los de 16 °C.

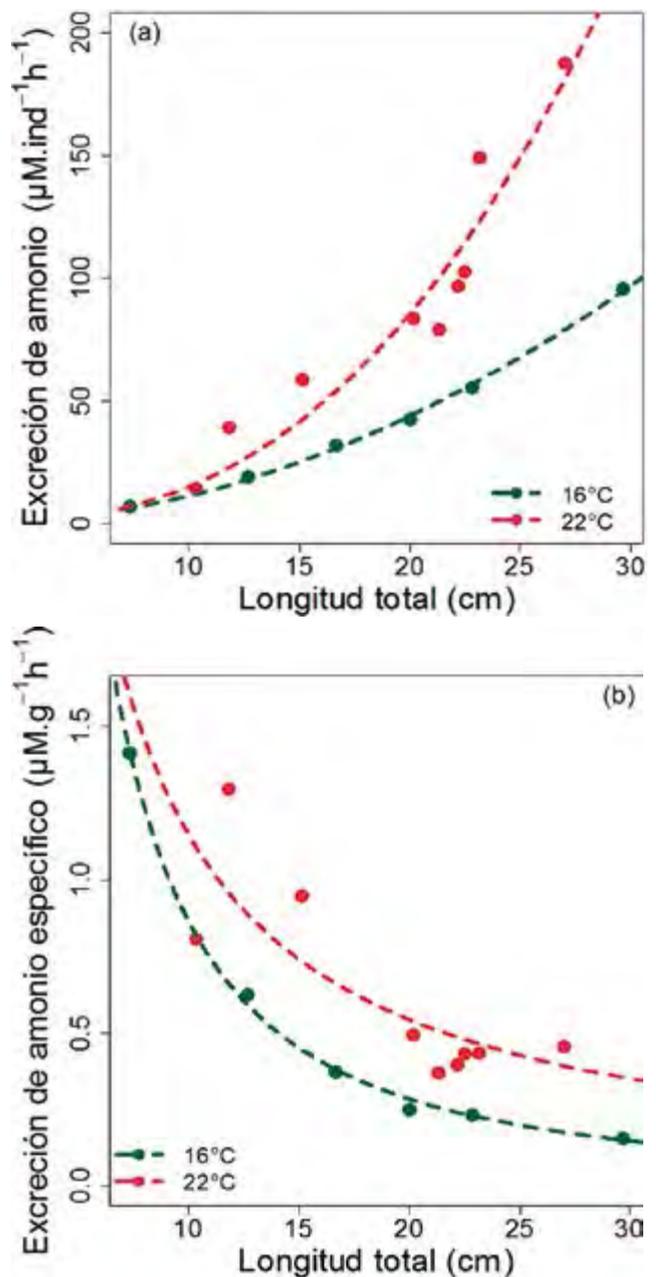


Figura 6.- (a) Curva de la tasa de excreción de amonio ($\mu M.ind^{-1}.h^{-1}$) en función a la talla (cm) y (b) Curva de la tasa de excreción de amonio específico ($\mu M.g^{-1}.h^{-1}$) en función a la talla (cm), en individuos de chita (*A. scapularis*) a 16 y 22 °C

4. DISCUSIÓN

LA FISIOLÓGIA COMO HERRAMIENTA EN ACUICULTURA

La determinación de las condiciones ambientales óptimas para el crecimiento de los peces en sistemas de cultivo es esencial para la maximización y optimización de su producción (AZAZA *et al.* 2008). La temperatura es uno de los parámetros que afecta directamente los procesos fisiológicos y metabólicos en los organismos ectotermos como los peces, influyendo sobre su crecimiento, reproducción y sobrevivencia (CUSSAC *et al.* 2009). Nuestros resultados indican que el crecimiento a 17 °C no evidenció diferencias significativas ($p > 0,05$) con los peces cultivados a 22 °C. No obstante, las tasas fisiológicas (consumo de alimento, consumo de oxígeno y excreción de amonio) determinadas en juveniles de *A. scapularis* a 22 °C demuestran ser mayores significativamente ($p < 0,05$) respecto a los peces acondicionados a 17 y 14 °C. Es probable que los flujos de energía para los diferentes procesos metabólicos de la especie se encuentren en un rendimiento sub-óptimo en aquellos que fueron acondicionados a 22 °C. Esto podría explicarse a la mayor inversión energética en los procesos de mantenimiento restándole energía para el crecimiento. Al respecto, en nuestros resultados se evidenciaron las mayores tasas de consumo de oxígeno y excreción de amonio obtenidas en individuos de *A. scapularis* acondicionados a 22 °C. Bajo esta premisa, LEÓN⁴ (2016) determinó que el rango térmico óptimo para los procesos fisiológicos de juveniles de *A. scapularis* es de $18,7 \pm 2^\circ\text{C}$ y la temperatura de tolerancia máxima es de $32,6^\circ\text{C}$. En tal sentido, la energía disponible para el crecimiento de los peces cultivados a 22 °C pudo verse afectado debido a que se superó el límite superior del óptimo térmico ($20,7^\circ\text{C}$) para *A. scapularis*. Sin embargo, a 22 °C su sobrevivencia no fue afectada. Una de las razones puede deberse a que esta especie no es ajena a estas condiciones térmicas en su hábitat natural, puesto que durante y después del evento de El Niño 97-98 no hubo un impacto negativo en la captura de *A. scapularis* en San Bartolo y Puerto Salaverry (TRESIERRA-AGUILAR *et al.* 1999, GARATE y PACHECO 2004).

El tamaño de la boca en los peces establece el límite del tamaño de la presa (DABROWSKI y BARDEGA 1984). En ese sentido, el tamaño de la boca condiciona el tamaño del alimento de dietas naturales como artificiales (HYATT 1979). Un estudio previo indica que el tamaño óptimo de partícula se encuentra entre el 50 y 60% del diámetro de boca (DABROWSKI y BARDEGA 1984). De acuerdo a ello, se estimaron el

rango superior e inferior para el tamaño de partícula alimenticia óptima en función de la longitud total del pez. Por tanto, las dietas suministradas (2, 4 y 6 mm de diámetro del alimento) durante el experimento de crecimiento indicaron ser adecuadas para el manejo alimentario de esta especie. Las tablas resultantes permitirán programar las dimensiones del alimento para *A. scapularis* en diferentes estadios.

El consumo de alimento de las especies ectotermas, como los peces, obedecen a los procesos metabólicos que se encuentran en función de la temperatura, oxígeno disuelto y fotoperiodo (BRETT y GROVES 1979). Sin embargo, el consumo de alimento también es influenciado por la talla del individuo, puesto que la asimilación de los nutrientes es realizada a través de una superficie ($\propto \text{Longitud}^2$) (KOOIJMAN 2009). Al respecto, los valores exponenciales de los modelos matemáticos del consumo de alimento en función de la talla para las tres temperaturas (14, 17 y 22 °C) de cultivo fueron significativamente igual a 2, corroborando la proporcionalidad de las tasas de ingestión/asimilación respecto a la superficie del organismo postulada por KOOIJMAN (2009). En tal sentido, la cantidad de alimento consumido a saciedad aparente por los individuos de *A. scapularis* guarda estrecha relación con la temperatura y su longitud. Estos valores permitieron generar tablas a partir de la modelización del consumo de alimento que será una herramienta útil de manejo acuícola para esta especie permitiendo la estimación de la ración alimentaria para distintas tallas y temperaturas de cultivo (RICHE *et al.* 2004).

El oxígeno actúa como un factor limitante de la actividad metabólica (DEL TORO-SILVA *et al.* 2008) en los organismos acuáticos, puesto que bajos niveles de oxígeno reducen el rendimiento del ATP por unidad de glucosa (AGUIRRE-VELARDE *et al.* 2016). Por tanto, un descenso del oxígeno puede reducir el crecimiento de los organismos. Al respecto, nuestros resultados evidencian que los juveniles de *A. scapularis* acondicionados a 22 °C tuvieron la mayor tasa de consumo de oxígeno (VO_2) respecto a los peces acondicionados a 17 y 14 °C. Asimismo, comparando la VO_2 con otras especies marinas como *Seriola lalandi* (NERICI *et al.* 2012), *Paralichthys lethostigma* (VAN MAAREN *et al.* 2000), *Scophthalmus maximus* (IMSLAND *et al.* 1995), *Dicentrarchus labrax* (HERSKIN y STEFFENSEN 1998) y *Sparus aurata* (REQUENA *et al.* 1997), se observó que la VO_2 de *A. scapularis* es mayor y por lo tanto parece ser una especie exigente del oxígeno disuelto en el agua. Probablemente, esté asociado al tipo de hábitat de la especie (zonas rocosas e hidrodinamismo moderado)

⁴ LEÓN PALOMINO C. L. 2016. Efecto de la temperatura de aclimatación en las respuestas térmicas de juveniles de *Anisotremus scapularis* "chita" (Tschudi, 1846). Tesis para optar el Título Profesional de Biólogo con mención en Hidrobiología y Pesquería. Facultad de Biología. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 62p.

(FISHBASE 1999). En tal sentido, condiciones de bajos niveles de oxígeno podrían ser críticos para *A. scapularis*, pudiendo afectar su crecimiento y sobrevivencia. Complementariamente, los resultados obtenidos del VO_2 a diferentes tallas y temperaturas permitieron estimar las diferentes VO_2 mediante un modelo matemático. En este panorama, ante un eventual cultivo de *A. scapularis*, tanto en ambientes controlados como en jaulas flotantes en el mar, los modelos obtenidos podrán servir como herramienta para cálculos de dimensionamiento, densidades de cultivo, control de caudales e inyección de oxígeno.

Los peces en condiciones de ayuno reducen su excreción de amonio puesto que el organismo no cuenta con suficiente cantidad de proteína o aminoácidos para la desaminación de estos (PORTER *et al.* 1987). No obstante, la excreción de metabolitos continúa a través de las branquias y orina, producto del control iónico de los peces (CALDERER 2001⁵). En peces marinos, la excreción de NH_4^+ y otras sales (K^+ , HCO_3^-) se da principalmente en las branquias debido a una absorción iónica (sales) que ocurre en el esófago (CALDERER 2001⁵). Posiblemente esto podría explicar el amonio determinado en nuestras pruebas y más aún en organismos aclimatados a 22 °C, debido al incremento metabólico.

Asimismo, este efecto se evidencia en la talla de los peces puesto que a mayor volumen del individuo, mayor excreción amoniacal. En este marco, el conocimiento de la cantidad de amonio que un organismo acuático excreta es de importante relevancia para su cultivo, puesto que permitirá diseñar e implementar sistemas de biofiltración en un sistema de cultivo intensivo en ambiente controlado, calcular las densidades de siembra para cada estadio (mediante los desdobles), los recambios de agua y el manejo de flujos de agua.

Los resultados obtenidos durante las investigaciones, marcan un punto de partida referencial para el desarrollo acuícola de *Anisotremus scapularis*. En este marco, se propone realizar ensayos a nivel piloto para reducir y optimizar la curva de crecimiento de la especie, en el que además, podrían seleccionarse individuos para la formación de plantel de reproductores con crecimiento mejorado y efectuar estudios para determinar presencia de dimorfismo sexual en términos de crecimiento a fin de proponer cultivos monosexo.

Es recomendable determinar los requerimientos nutricionales en relación a niveles adecuados de proteína, lípidos, proteína-energía, perfil de ácidos grasos esenciales, entre otros; tomando en cuenta

que DIONICIO-ACEDO *et al.* (2017) encontraron que los requerimientos proteicos para *A. scapularis* son de al menos 48% en la dieta así como niveles importantes de ácidos grasos esenciales (DHA, EPA y ARA) y además sugirieron reducir niveles de los ácidos linoleico y linolénico porque no favorecen el crecimiento en los juveniles de *A. scapularis*. Lo que conllevaría a generar la información necesaria para la formulación de dietas comerciales en los diferentes estadios de *A. scapularis*. Además, de la evaluación económica por costo de alimento.

Es importante efectuar el estudio sobre el consumo de oxígeno en metabolismo de actividad (velocidades de flujo, después de la alimentación) y la determinación de los puntos críticos de saturación del oxígeno ya que el metabolismo de los peces es regulado parcialmente por ritmos endógenos (tamaño) y ciclos diarios exógenos (temperatura, oxígeno, alimento, etc.) (NERICI *et al.* 2012) y durante este estudio se determinó que el consumo de oxígeno en *A. scapularis* es relativamente elevado; por lo tanto, se recomienda tener en consideración la disponibilidad de oxígeno saturado y la capacidad de carga para el dimensionamiento y el manejo de cultivo.

La excreción de amonio en los organismos acuáticos es un producto final del metabolismo de la proteína (JOBLING 1981) con alto potencial de degradación de la calidad del agua (ESCOBAR *et al.* 2006). En este sentido, uno de los principales problemas que existe en los sistemas cerrados de recirculación de agua en acuicultura, es la eliminación constante de los compuestos nitrogenados como el amoniaco (NH_3) y nitrito (NO_2^-) (INGLE DE LA MORA *et al.* 2003), los cuales son muy tóxicos a bajas concentraciones. Como ya se conoce, niveles inadecuados de la proteína o una mala proporción entre la proteína-energía en la dieta aumentan la excreción de amonio en los peces (ESCOBAR *et al.* 2006). Por lo que se recomienda realizar ensayos de excreción de amonio en la especie con diferentes fuentes y niveles de proteína, relación proteína-energía de la dieta, entre otros.

Las innovaciones tecnológicas han permitido desarrollar diferentes tipos de cultivo; entre ellos los sistemas de recirculación acuícola (SRA) y cultivos en jaulas flotantes. Cultivos en SRA utilizan tanques y permiten controlar la temperatura, oxígeno y velocidad de flujo. Este sistema reutiliza el agua en base a los procesos de filtración mecánica y biológica (nitrificación), reduciendo los niveles tóxicos de los nutrientes nitrogenados (NH_4^+ , NH_3 y NO_2^-) (EBELING y TIMMONS 2007). Contrariamente, en los cultivos en jaulas flotantes; la temperatura, velocidad del agua y

5 CALDERER A. 2001. Influencia de la temperatura y la salinidad sobre el crecimiento y consumo de oxígeno de la dorada (*Sparus aurata* L.). Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias Biológicas. Universidad de Barcelona. 206 pp. Revisado de <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/35876>

disponibilidad de oxígeno disuelto dependen de las condiciones naturales. En este panorama, las aguas costeras peruanas se caracterizan por un intenso sistema de afloramiento que como consecuencia genera condiciones severas de hipoxia durante un día o varios días (AGUIRRE-VELARDE *et al.* 2016). En este contexto, existe un importante desafío para el desarrollo acuícola de esta especie, puesto que tendrá que considerarse una estrategia para el manejo de la saturación de oxígeno en las condiciones de cultivo.

5. CONCLUSIONES

Se determinó que *Anisotremus scapularis* se adapta fácilmente al cautiverio debido a que es una especie manejable al momento de monitoreo biométrico y acepta fácilmente el alimento balanceado. También observamos que presentan un comportamiento gregario en etapa de juveniles, sin embargo, en estadio de pre-adulto y adulto (talla >16 cm) adopta un comportamiento más independiente frente a sus congéneres. Estas características brindan un soporte biológico importante para el manejo acuícola de la especie.

Las curvas de crecimiento obtenidas en el presente estudio permitirán estimar los tiempo de cultivo de *A. scapularis* bajo diferentes condiciones térmicas y constituyen una base para la implementación del mejoramiento tanto del material biológico como de la tecnología productiva a desarrollarse. Asimismo, el modelamiento de las tasas fisiológicas permitirá el dimensionamiento y/o adaptación de infraestructuras a nivel experimental o piloto contribuyendo al desarrollo de un paquete tecnológico para esta especie.

En este estudio se ha modelado, en condiciones de laboratorio, la primera curva de crecimiento para la especie a diferentes condiciones de temperatura. De acuerdo a estos modelos, individuos de 10 cm de longitud inicial estarían alcanzando talla comercial legal de 24 cm en alrededor de 24 meses de cultivo en el rango de temperatura de 17 a 22 °C.

6. REFERENCIAS

- AGUIRRE-VELARDE A, JEAN F, THOUZEAU G, FLYE-SAINTE-MARIE J. 2016. Effects of progressive hypoxia on oxygen uptake in juveniles of the Peruvian scallop, *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). *Aquaculture*. 451: 385–389. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.07.030>
- ÁRNASON T, BJÖRNSSON B, STEINARSSON A, ODDGEIRSSON M. 2009. Effects of temperature and body weight on growth rate and feed conversion ratio in turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*. 295(3-4): 218–225. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.07.004>
- AZAZA M S, DHRAÏEF M N, KRAÏEM M M. 2008. Effects of water temperature on growth and sex ratio of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) reared in geothermal waters in southern Tunisia. *Journal of Thermal Biology*. 33(2): 98–105. <http://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2007.05.007>
- BRETT J R, GROVES T D D. 1979. Physiological Energetics. In *Fish Physiology*. Academic Press. New York. 8: 279–352.
- CHIRICHIGNO N, CORNEJO M. 2001. Catálogo comentado de los peces marinos del Perú. Instituto del Mar del Perú, Callao. 314 pp.
- CUSSAC V E, FERNÁNDEZ D A, GÓMEZ S E, LÓPEZ H L. 2009. Fishes of southern South America: A story driven by temperature. *Fish Physiology and Biochemistry*. 35(1): 29–42. <http://doi.org/10.1007/s10695-008-9217-2>
- DABROWSKI K, BARDEGA R. 1984. Mouth size and predicted food size preferences of larvae of three cyprinid fish species. *Aquaculture*. 40: 41–46.
- DEL TORO-SILVA F M, MILLER J M, TAYLOR J C, ELLIS T A. 2008. Influence of oxygen and temperature on growth and metabolic performance of *Paralichthys lethostigma* (Pleuronectiformes: Paralichthyidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 358(2): 113–123. <http://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.01.019>
- DIONICIO-ACEDO J, ROSADO-SALAZAR M, FLORES-MEGO J, FLORES-RAMOS L, AGUIRRE-VELARDE A. 2017. Evaluación de dietas comerciales en el crecimiento y su efecto en la composición bioquímica muscular de juveniles de chita, *Anisotremus scapularis* (Tschudi, 1846) (Familia: Haemulidae). *Latin American Journal of Aquatic Research*. 45(2): 410–420. <http://doi.org/10.3856/vol45-issue2-fulltext-16>
- EBELING J M, TIMMONS M B. 2007. Recirculating Aquaculture Systems. In *Aquaculture Production System*. 245–277 p.
- EL PERUANO. 2016. Normas Legales. Resolución Ministerial N° 156-2016-PRODUCE. 88 p.
- ESCOBAR J A, DEL ROSARIO REINOSO V, LANDINEZ M A. 2006. Efecto del nivel de energía y proteína en la dieta sobre el desempeño productivo de alevinos de *Oreochromis niloticus*, variedad chitralada. *Revista de Medicina Veterinaria*. 12: 89–97.
- FISHBASE. 1999. *Anisotremus scapularis* (Tschudi, 1846). Revisado en <http://www.fishbase.org/Summary/Species-Summary.php?ID=8255&genusname=Anisotremus&speciesname=scapularis>
- FRY F E J. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. In *Fish Physiology*. New York: Academic Press. 98 pp.
- GAMITO S. 1998. Growth models and their use in ecological modelling: an application to a fish population. *Ecological Modelling*. 113: 83–94.
- GARATE A, PACHECO A. 2004. Cambios en la distribución y abundancia de la ictiofauna de aguas someras en San Bartolo (Lima, Perú) después del ENSO 1997-98. *Ecología Aplicada*. 3(1, 2): 148–153.
- HERSKIN J, STEFFENSEN J. 1998. Energy savings in sea bass swimming in a school: Measurements of tail beat frequency and oxygen consumption at different swimming speeds. *Journal of Fish Biology*. 53(2): 366–376. <http://doi.org/10.1006/jfbi.1998.0708>
- HYATT K D. 1979. Feeding strategy. In: W.S. Hoar, D.J. Randall and J.R. Brett (Eds.). *Fish Physiology*, Academic Press, London. Vol. VIII: 71-119
- IBARZ A, FERNÁNDEZ-BORRÁS J, BLASCO J, GALLARDO M A, SÁNCHEZ J. 2003. Oxygen consumption and feeding rates of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) reveal lack of

- acclimation to cold. *Fish Physiology and Biochemistry*. 29(4): 313–321. <http://doi.org/10.1007/s10695-004-3321-8>
- IMSLAND A, FOLKVORD A, STEFANSSON S. 1995. Growth, oxygen consumption and activity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) reared under different temperatures and photoperiods. *Netherlands Journal of Sea Research*. 34(1-3): 149–159. [http://doi.org/10.1016/0077-7579\(95\)90023-3](http://doi.org/10.1016/0077-7579(95)90023-3)
- INGLE DE LA MORA G, VILLAREAL-DELGADO E L, ARREDONDO-FIGUEROA J L, PONCE-PALAFIX J T, BARRIGA-SOSA I. 2003. Evaluación de algunos parámetros de calidad de agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. *Hidrobiológica*. 13(4): 247–253.
- JOBLING M. 1981. Some effects of temperature, feeding and body weight on nitrogenous excretion in young plaice *Pleuronectes platessa* L. *Journal of Fish Biology*. 18(1): 87–96. <http://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1981.tb03763.x>
- KÉROUEL R, AMINOT A. 1997. Fluorometric determination of ammonia in sea and estuarine water by direct segmented flow analysis. *Marine Chemistry*. 57: 265–275.
- KOOIJMAN S A L M. 2009. *Dynamic energy budget theory for metabolic organisation*. Cambridge University Press. Cambridge. 514 pp.
- MONTES M, LINARES J, CASTRO A, CARRERA L. 2015. Study of embryonic development and larval culture of the Peruvian grunt *Anisotremus scapularis*. LAQUA. 2 pp.
- NERICI C, MERINO G, SILVA A. 2012. Effects of two temperatures on the oxygen consumption rates of *Seriola violacea* (palm fish) juveniles under rearing conditions. *Aquacultural Engineering*. 48: 40–46. <http://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.12.011>
- PORTER C, KROM M, ROBINS M, BRICKELL L A D. 1987. Ammonia excretion and total N budget for guilthead seabream (*Sparus aurata*) and its effect on water quality conditions. *Aquaculture*. 66: 287–298.
- PRODUCE. 2010. Plan nacional de desarrollo acuícola 2010-2021. D.S. N° 001-2010. Revisado en <http://www.produce.gob.pe/index.php/sector-acuicultura/plan-nacional-de-desarrollo-acuicola>
- PRODUCE. 2016. Anuario Estadístico Pesquero y Acuícola 2014. Revisado en http://www.ccss.sa.cr/est_salud
- REQUENA A, FERNANDEZ-BORRÁS J, PLANAS J. 1997. The effects of a temperature rise on oxygen consumption and energy budget in gilthead sea bream. *Aquaculture International*. 5: 415–426. <http://doi.org/10.1023/A:1018332727888>
- RICHE M, OETKER M, HALEY D I, SMITH T, GARLING D L. 2004. Effect of feeding frequency on consumption, growth and efficiency in juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *The Israeli Journal of Aquaculture*. 56(4): 247–255.
- TRESIERRA-AGUILAR A, CULQUICHICÓN Z, VENEROS-URBINA B. 1999. Efecto del Fenómeno “El Niño 1997-98” en el desembarque de los recursos pesqueros artesanales de Puerto Salaverry (Trujillo). *Rev. per. Biol.* 6(3): 160–163.
- VAN MAAREN C, Kita J, DANIELS H. 2000. Temperature tolerance and oxygen consumption rates for juvenile southern flounder *Paralichthys lethostigma* acclimated for five different temperature. UJNR Technical Report. 135-140. <http://www.lib.noaa.gov/retiredsites/japan/aquaculture/proceedings/report28/vanMaaren.pdf>
- VON BERTALANFFY L. 1934. Untersuchungen über die Gesetzlichkeit des Wachstums. I. Allgemeine Grundlagen der Theorie: Mathematische und physiologische. *Arch. EntwicklMech. Org.* (131): 613–653.