

Research Article

Evaluación de la tasa de consumo de oxígeno de *Colossoma macropomum* en relación al peso corporal y temperatura del agua

Dennis Tomalá^{1,2}, Johnny Chavarría¹ & Beatriz Ángeles²

¹Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), Campus La Libertad
Vía Principal, Santa Elena, La Libertad, Ecuador

²Facultad de Pesquería, Universidad Nacional Agraria La Molina
Avenida La Molina s/n, La Molina, Lima, Perú

RESUMEN. *Colossoma macropomum* es una especie de la región amazónica perteneciente a la familia Characidae, la de mayor diversidad de peces de agua dulce. A nivel de laboratorio, se determinó la tasa de consumo de oxígeno (CO) en metabolismo de rutina de *C. macropomum* a diferentes pesos corporales: 40, 60, 90, 140 y 250 g (expresados por unidad de masa corporal) y temperatura del agua de 21, 26 y 31°C. El experimento se diseñó completamente al azar en arreglo factorial (5x3x3), utilizando un respirómetro de 20 L y una bomba de recirculación de agua. Las mediciones del CO fueron realizadas cada 5 min mediante el uso de un oxímetro digital. Los resultados indican que el CO mantiene relación directa con la temperatura del agua e inversa con el peso corporal de los organismos ($P < 0,05$). Las regresiones entre las variables independientes y el CO se ajustaron a ecuaciones potenciales: $CO = 2844,9 P^{-0,734}$, $CO = 2555,9 P^{-0,624}$ y $CO = 1945,4 P^{-0,507}$ a 21, 26 y 31°C respectivamente; donde P se expresa en kg, obteniéndose altos coeficientes de correlación y determinación. La ecuación resultante del análisis multivariado de regresión lineal múltiple fue: $CO = 4,839 - (0,708 * P) + (9,106 * T)$. Los resultados ofrecen información para estimar la capacidad de un ambiente acuícola en base a la demanda de oxígeno de *C. macropomum*, aportando al desarrollo de una acuicultura con mayor sustento técnico.

Palabras clave: *Colossoma macropomum*, consumo de oxígeno, peso, temperatura, respirómetro, acuicultura.

Evaluation of oxygen consumption rate of *Colossoma macropomum* regarding the body weight and water temperature

ABSTRACT. *Colossoma macropomum* is a species in the Amazon region pertaining to the greatest diversity of freshwater fish family Characidae. At the laboratory level, the rate of oxygen consumption of (CO) was determined in a routine metabolism at different body weights: 40, 60, 90, 140 and 250 g (expressed per unit of body mass) and water temperature of 21, 26 and 31°C. The experiment was design as a completely randomized factorial arrangement (5x3x3), using a respirometer of 20 L and a water recirculation pump. CO measurements were recorded every 5 min by using a digital oximeter. It was shown that the CO maintains interaction with body weight (P) and water temperature (T) ($P < 0.05$). The results indicate that CO remains directly related to water temperature and inversely with body weight of the organisms. The regression between independent variables and CO were adjusted to potential equations: $CO = 2844.9 P^{-0.734}$, $CO = 2555.9 P^{-0.624}$ and $CO = 1945.4 P^{-0.507}$ for 21, 26 y 31°C respectively; where P expressed in kg, yielding high coefficients of correlation and determination. The resulting equation of the multivariate regression analysis was: $CO = 4.839 - (0.706 * P) + (9.106 * T)$. The results provide information to estimate the capacity in an aquaculture environment based upon the oxygen demand of *C. macropomum*, contributing to the development of aquaculture with greater technical support.

Keywords: *Colossoma macropomum*, oxygen consumption, weight, temperature, respirometer, aquaculture.

INTRODUCCIÓN

La gamitana *Colossoma macropomum* es una especie endémica de la cuenca amazónica del grupo de los Carácidos, perteneciente a la familia Characidae, la de mayor diversidad de especies de peces de agua dulce en Sudamérica (Aliaga, 2004), conocida como “gamitana” en Perú, “cachama” en Venezuela y Ecuador, “cachama negra” en Colombia y “tambaqui” en Brasil (Pineda *et al.*, 2004 en Vinatea, 2005). Actualmente, constituye una especie de valor comercial en la acuicultura de países de Sudamérica, siendo considerada una especie resistente al manejo y enfermedades (Dañino & Nash, 2008).

En el cultivo de peces, el oxígeno disuelto es el factor más importante de la calidad del agua, ya que en bajas concentraciones puede causar pérdidas económicas considerables, debido a sus efectos negativos sobre la ganancia de peso y conversión alimenticia, siendo la causa más frecuente de muerte repentina en organismos cultivados (Valbuena *et al.*, 2006; Valbuena-Villareal & Cruz-Casallas, 2007). Boyd (1990) considera que la deficiencia de oxígeno disuelto en el agua puede ser responsable de pérdidas de más del 60% en cultivos de tilapia.

El conocimiento de las variaciones del consumo de oxígeno con cambios de temperatura, constituye una herramienta valiosa para establecer la tasa de renovación de agua y densidades de cultivo máximas, debido a que la temperatura mantiene influencia sobre las actividades metabólicas de los organismos como la tasa de respiración, eficiencia en la alimentación y asimilación, crecimiento, comportamiento y reproducción, así como su distribución en los ecosistemas (De la Gándara, 2003; Ferreira *et al.*, 2009; Poleo *et al.*, 2011). Por lo tanto, la estimación de los requerimientos de oxígeno de los peces se convierte en una variable fundamental en la acuicultura (Merino *et al.*, 2009, 2011).

Numerosos estudios han sido realizados para estimar el consumo de oxígeno utilizando respirómetros o cámaras respirométricas, entre ellos los de Parma de Croux & Lorenzatti (1981) en *Pimelodus maculatus*, Parma de Croux (1983) en *Hoplias malabaricus*, Saint-Paul (1983) en *Colossoma macropomum*, Fidhiany & Winckler (1995) en *Cichlasoma nigrofasciatum*, Cerezo-Valverde & García-García (2004) en *Dentex dentex*, Valbuena *et al.* (2006) en *Brycon amazonicus*, Peñuela-Hernández *et al.* (2007) en *Piaractus brachypomus*, Valbuena-Villareal & Cruz-Casallas (2007) en *Oreochromis sp.*, Ferreira *et al.* (2009) en *Cyprinus carpio* y Nerici *et al.* (2012) con *Seriolella violacea*. De ellos ~85% se realizó bajo condiciones de metabolismo de rutina, los peces

permanecen inactivos y en ayuno (Nerici *et al.*, 2012). De la Gándara (2003) sostiene que los datos del metabolismo de rutina son considerados la mejor aproximación de lo que sucede en la naturaleza, ya que representa los costos metabólicos asociados a procesos diarios y actividades de la vida normal y parecen ser más precisos para la acuicultura con fines de producción (Nerici *et al.*, 2012).

Boyd (1990) expresa que la cantidad de oxígeno requerido por los animales acuáticos es variable y depende de la especie, talla, alimentación, actividad, temperatura del agua, concentración de oxígeno disuelto, en referencia a la investigación temprana de Clauden (1936), que señaló que ocho especies de peces de agua dulce tuvieron tasas de consumo de oxígeno que fluctuaron entre 205 y 500 mg O₂ kg⁻¹ pez h⁻¹ bajo las mismas condiciones ambientales y grado de actividad. Con estos antecedentes, el objetivo de este estudio consistió en evaluar el consumo de oxígeno en *C. macropomum* a diferentes temperaturas (21, 26 y 31°C) y pesos corporales (40, 60, 90, 140 y 250 g), como una herramienta que contribuya con información específica de la especie para el desarrollo de una acuicultura amazónica con mayor sustento técnico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicado en La Molina, Lima-Perú, (12°05'06"S, 76°57'00"W), aproximadamente a 241 m.s.n.m. La temperatura promedio anual del sitio es de 18,5 a 19°C con un máximo anual de 29°C, humedad atmosférica promedio anual de 81% y precipitación total anual de 10 mm.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) en arreglo factorial con tres repeticiones (5x3x3). Los factores a analizar fueron organismos con un peso corporal de 40, 60, 90, 140 y 250 g y temperatura del agua a 21, 26 y 31°C. El análisis factorial constó de 15 experimentos con tres réplicas por cada tratamiento, generando 45 experimentos.

Unidades experimentales

Respirómetro: se construyeron dos respirómetros que consistieron en una cámara de vidrio con un volumen de 20 L de agua, sellada con tapa hermética y una cubeta exterior de 16 L de capacidad. La medición del consumo de oxígeno se realizó con un oxímetro YSI 550A DO (550A, Dissolved Oxygen, Yellow Springs

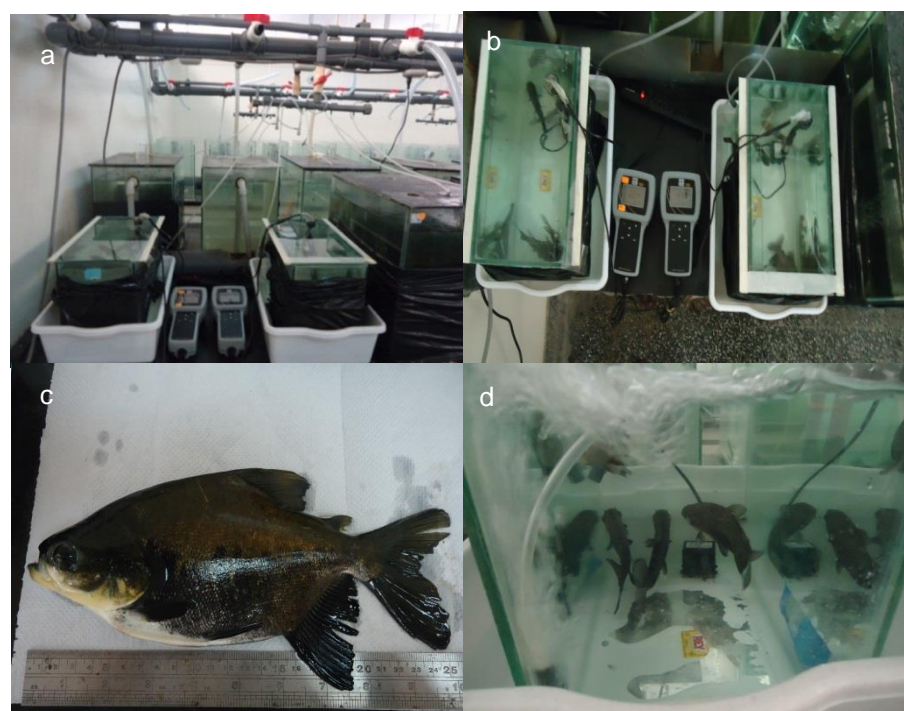


Figura 1. Unidades experimentales: a-b) respirómetros y equipos, c) juvenil de gamitana *Colossoma macropomum*, d) aclimatación de organismos.

Instruments) y una bomba de recirculación de agua con filtro sumergible Sea Star HX con un caudal de 300 L h⁻¹ (Fig. 1).

Material biológico: se utilizaron 48 ejemplares con un peso entre 40 y 250 g provenientes del Centro de Investigación Piscícola-CINPIS de la UNALM (Lima) y de la Granja Acuícola San Jorge (Tarapoto). Los organismos fueron transportados vivos al laboratorio, aclimatados, mantenidos en acuarios de 60 L, con recirculación de agua. La alimentación se efectuó dos veces al día (09:00 y 16:00 h). Previo a la etapa de experimentación, se suspendió la alimentación.

Análisis estadístico

La información fue procesada en Excel Microsoft Office versión 2010 y Minitab[®] 16 Statistical Software. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) seguido de la prueba de comparación de medias muestrales de Tukey. Se obtuvieron curvas de regresión para establecer la relación del consumo de oxígeno con el peso corporal y temperatura del agua. Adicionalmente, se aplicó un análisis multivariado mediante el programa estadístico IBM[®] SPSS[®] Statistics 19 para determinar la contribución de las variables en los resultados.

Determinación del consumo de oxígeno

La metodología empleada es una adaptación y modificación realizada a partir de los trabajos de Parma de Croux & Lorenzatti (1981), Montagna & Parma de Croux (2001), Sastre *et al.* (2004), Valbuena-Villareal & Cruz-Casallas (2007) y Peñuela-Hernández *et al.* (2007), y se aplicó el siguiente procedimiento:

1. Calibración del oxímetro: se realizó según los valores de altitud del lugar y salinidad del agua.
2. Respirómetro: se instaló el sensor del oxímetro y la bomba sumergible de recirculación de agua, y se llenó el respirómetro con agua filtrada.
3. Oxígeno: se suministró oxigenación mediante piedras difusoras procurando mantener el mayor porcentaje de saturación.
4. Peces: se introdujo los organismos de acuerdo a la biomasa estipulada para cada experimento. Para todos los grupos de peces, se procuró trabajar con 250 g de peso en el respirómetro.
5. Aclimatación: el período de adaptación y aclimatación fue de 1 h aproximadamente.
6. Temperatura: se controló mediante la adición de hielo o agua caliente en la cubeta exterior. La temperatura al interior de los respirómetros se mantuvo a $21 \pm 0,13^{\circ}\text{C}$; $26 \pm 0,12^{\circ}\text{C}$ y $31 \pm 0,08^{\circ}\text{C}$.

7. Cerrado del sistema: se llenó el volumen faltante con agua, se retiró la oxigenación del sistema y se cerró el sistema herméticamente.
8. Determinación de consumo de oxígeno: se registró datos cada 5 min hasta sobrepasar el nivel mínimo de consumo definido como 2 mg L^{-1} , concentración que se alcanzó en un intervalo comprendido entre 70 min (tiempo mínimo) y 620 min (tiempo máximo), dependiendo de las condiciones experimentales. Para el cálculo del CO total se utilizó la ecuación presentada por Cerezo-Valverde & García-García (2004). El volumen de agua se renovó una vez concluida la determinación del consumo de oxígeno de los peces.

$$\text{Consumo}(\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ L}^{-1}) = \frac{(O_{2i} - O_{2f}) * V}{t * B}$$

donde $O_{2i} - O_{2f}$: diferencia de concentraciones de oxígeno inicial y final ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$); V: volumen del respirómetro (L); t: tiempo (h) y B: biomasa (kg).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos indican que los especímenes de gamitana *C. macropomum* de mayor peso consumieron menor cantidad de oxígeno por unidad de peso corporal y viceversa, esta relación se presentó para cada temperatura, como una relación inversa entre el consumo de oxígeno y peso corporal (Tabla 1, Fig. 2). Los animales sometidos a temperatura de 21°C tuvieron un menor consumo comparado con las temperaturas de 26 y 31°C . De este modo, a 31°C los organismos presentaron un mayor consumo de oxígeno. Si bien en la mayoría de los casos se observó que difieren estadísticamente, los individuos con pesos de 40 y 60 g no mostraron diferencias significativas.

Se obtuvo una relación positiva obtenida entre la temperatura y el consumo de oxígeno (Fig. 3) que expresa que a medida que aumentó la temperatura se incrementó el consumo de oxígeno, para cada grupo

experimental, reflejándose como una relación directamente proporcional para el rango de temperaturas estudiadas.

En la Fig. 4 se presenta la relación entre el consumo de oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) y peso corporal (g) a temperaturas de 21 , 26 y 31°C con las respectivas ecuaciones potenciales y coeficientes de determinación. Se comprueba que organismos de mayor peso registraron menores tasas de consumo a las tres temperaturas, lo que indica que existe una disminución en el metabolismo respecto a organismos con pesos inferiores. De manera similar se observó una variación del consumo de oxígeno en todos los pesos en función a la temperatura, existiendo en el rango de temperaturas estudiadas, una relación directa, tal como ha sido señalado para otras especies de peces.

Cerezo-Valverde & García-García (2004) describen la existencia de una relación común entre el consumo de oxígeno (CO) y el peso de los organismos del tipo $\text{CO} = aP^b$, similar a lo obtenido en el presente estudio, donde los datos ajustaron a curvas de regresión potencial que se caracterizaron por altos coeficientes de determinación (R^2). De este modo, se obtuvo las siguientes ecuaciones:

$$21^\circ\text{C}: \text{CO} = 2844,9 P^{-0,734} (R^2 = 0,955)$$

$$26^\circ\text{C}: \text{CO} = 2555,9 P^{-0,624} (R^2 = 0,964)$$

$$31^\circ\text{C}: \text{CO} = 1945,4 P^{-0,507} (R^2 = 0,983)$$

donde, CO: consumo de oxígeno ($\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$); P: peso corporal (g) y R^2 : coeficiente de determinación.

Para comprobar la hipótesis, los datos fueron analizados mediante ANOVA y permiten afirmar que existe interacción entre las variables de estudio (peso corporal y la temperatura del agua) en la determinación del consumo de oxígeno disuelto con un nivel de significancia del 95% ($P = 0,024$). Luego se efectuó la prueba de Tukey para establecer comparaciones entre las relaciones de peso y temperatura. La mayoría de las comparaciones evaluadas fueron significativas.

Tabla 1. Tasas de consumo de oxígeno disuelto en gamitana (*Colossoma macropomum*), obtenidos en metabolismo de rutina a 21 , 26 y 31°C .

Peso corporal (g)	Consumo de oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$)		
	21°C	26°C	31°C
40	$184,55 \pm 5,89$	$241,47 \pm 8,49$	$281,92 \pm 17,41$
60	$162,6 \pm 11,85$	$227,99 \pm 13,37$	$254,37 \pm 14,57$
90	$96,07 \pm 11,76$	$142,06 \pm 5,91$	$208,43 \pm 14,37$
140	$66,73 \pm 0,32$	$115,17 \pm 8,53$	$160,33 \pm 15,47$
250	$53,98 \pm 4,02$	$82,82 \pm 4,57$	$114,17 \pm 12,24$

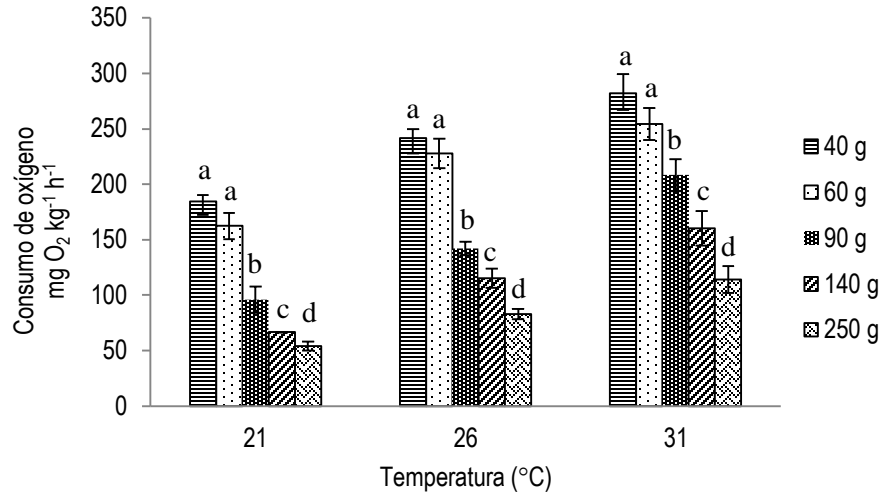


Figura 2. Consumo de oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2 \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) en gamitana (*Colossoma macropomum*) bajo tres condiciones de temperatura del agua. Las barras indican el error estándar ($n = 3$). Dentro de cada temperatura, barras con diferentes letras indican diferencias significativas ($P < 0,05$) como resultado de la comparación de medias muestrales de Tukey.

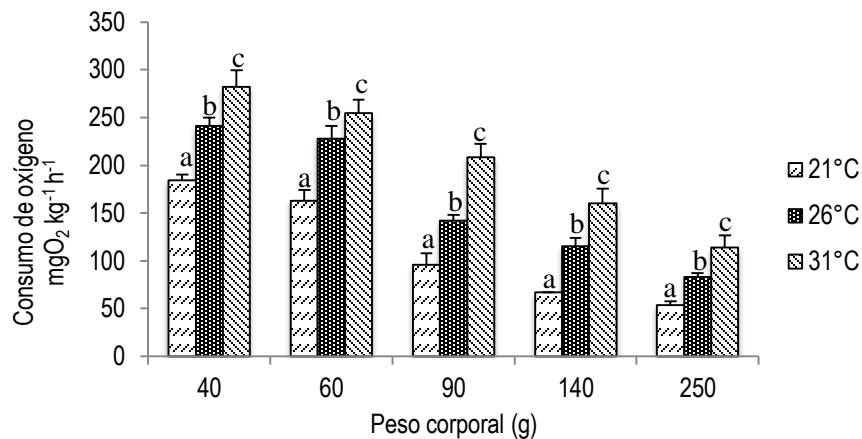


Figura 3. Consumo de oxígeno ($\text{mg O}_2 \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) en gamitana (*Colossoma macropomum*), bajo diferente peso corporal a temperaturas experimentales. Las barras indican el error estándar ($n = 3$). Dentro de cada temperatura, barras con diferentes letras indican diferencias significativas ($P < 0,05$) como resultado de la comparación de medias muestrales de Tukey.

Adicionalmente, con el análisis multivariado de regresión lineal múltiple se obtuvo una ecuación en que se relacionan ambas variables:

$$\text{CO} = 4,839 - (0,708 * P) + (9,106 * T)$$

donde P = peso (g); T = temperatura (°C).

Esta expresión permite estimar el consumo de oxígeno disuelto en un rango de peso entre 40 y 250 g a temperaturas entre 21 y 31°C.

DISCUSIÓN

Jover (2009), Puente (2009) y Merino *et al.* (2009), entre otros autores, mencionan diferentes clasifica-

ciones para identificar el estado metabólico de los peces. En el presente trabajo, se consideró el metabolismo de rutina como la tasa metabólica de los peces cuando se está realizando una actividad espontánea normal y en ayuno según Waller (1992) en Cerezo-Valverde & García-García (2004) y Brett & Groves (1979).

Los resultados muestran una relación inversa entre el consumo de oxígeno y el peso corporal, de manera similar a lo obtenido para *Piaractus brachypomus* (Sastre *et al.*, 2004), *Dentex dentex* (Cerezo-Valverde & García-García, 2004), *Oreochromis* sp. (Valbuena-Villareal & Cruz-Casallas, 2007) y *Bycon amazonicus* (Valbuena *et al.*, 2006; Peñuela-Hernández *et al.*, 2007).

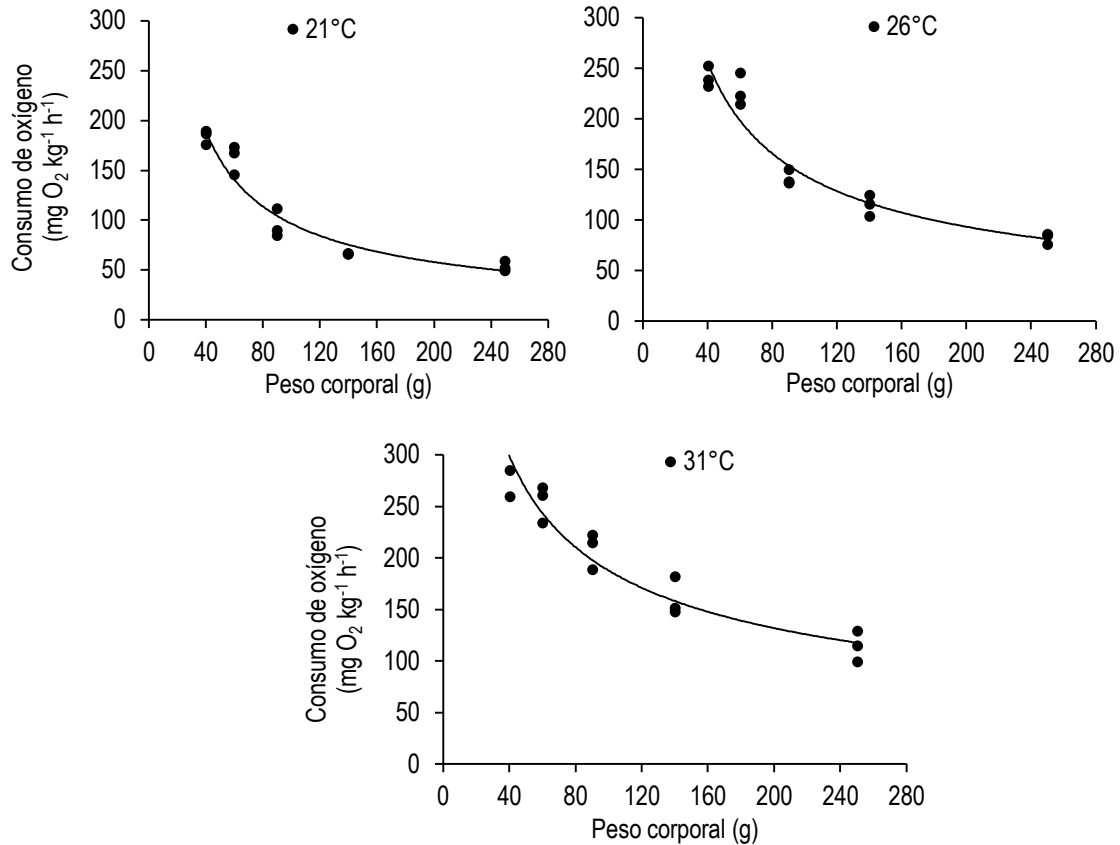


Figura 4. Relación entre el consumo de oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) y peso corporal (g) de gamitana (*Colossoma macropomum*) para las condiciones de temperaturas experimentales, sin alimentación.

En este contexto, los resultados permiten inferir que organismos con pesos corporales mayores a 250 g podrían tolerar un mayor tiempo de exposición a bajas concentraciones de oxígeno como lo señala Barbosa *et al.* (2009), Carvalho & Rodrigues (2009), Val (1996), Lacerda *et al.* (2010), FONDEPES (2004), Brauner & Val (2006) y Centeno *et al.* (2007).

Val (1996) y Brauner & Val (2006) sostienen que la temperatura acelera en general, las reacciones químicas, trayendo consigo el incremento del consumo de oxígeno en los seres vivos. FONDEPES (2004) reporta que la temperatura óptima para el cultivo de gamitana oscila entre 25 y 30°C; los cultivos se verían afectados por eventos de friaje, existiendo reportes de temperaturas de 21°C y temperaturas aun más bajas, que han afectado a la región amazónica (Rodríguez, *com. pers.*). Saint-Paul (1983) reportó valores de consumo de oxígeno disuelto de *C. macropomum* correspondientes a 103,7; 191,5; 289,7 y 212,4 $\text{mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ a temperaturas de 20, 25, 30 y 35°C respectivamente, con tendencia al ascenso en las tres primeras temperaturas y descenso a 35°C. Puente

(2009), coincidiendo con este resultado, menciona que todos los organismos tienen un rango de temperatura en el cual desarrollan sus funciones de manera óptima, pero a medida que la temperatura se aleja de este rango, dichas funciones se ven afectadas hasta que dejan de realizarse a determinadas temperaturas extremas. Comparando los datos coincidentes de Saint-Paul (1983) con los obtenidos en el presente trabajo, se observa que el comportamiento del CO es similar en los dos casos, aunque se observan diferencias en los valores absolutos, probablemente debidas a las diferentes condiciones experimentales a las que fueron sometidos los organismos o a diferencias poblacionales. No obstante, esto indica que bajo condiciones próximas a 35°C los resultados no serían aplicables, puesto que Saint-Paul (1983) observa una caída en el CO a los 35°C, lo cual sugiere que esas temperaturas podrían ser extremas o letales para la gamitana.

Parma de Croux & Lorenzatti (1981), Montagna & Parma de Croux (2001), De La Gándara (2003) y Dias de Oliveira (2003) indican que la tasa metabólica ha sido utilizada como una medida cuantitativa para

evaluar la actividad general de los peces encontrándose diferentes respuestas para una misma especie. Esto se debe a que los organismos están expuestos a diferentes condiciones ambientales tales como: temperatura del agua, tamaño, peso, estado fisiológico animal y metodología empleada en experimentos de laboratorio. Esto indica que las condiciones ambientales influyen en el metabolismo de los organismos.

A pesar del proceso de aclimatación, los organismos consumieron más oxígeno durante un corto período luego de cerrar la cámara respirométrica. Peñuela-Hernández *et al.* (2007) indican que la demanda de oxígeno se atribuye al déficit causado por el ejercicio aerobio durante la manipulación y adaptación a un nuevo entorno. Por consiguiente, en los experimentos, luego del cierre del respirómetro, el contorno de la cámara fue cubierto con plástico oscuro para evitar el estrés a los animales. La metodología utilizada y el diseño de los respirómetros permitieron obtener datos confiables para la estimación de las tasas de consumo de oxígeno de gamitana, lo que se verificó estadísticamente.

En investigaciones realizadas en trucha arco iris por Schroeder (1975) y Muller Feuga (1978) citados en Boyd (1990); en cachama blanca por Sastre *et al.* (2004) y Peñuela-Hernández *et al.* (2007) y en tilapia roja por Valbuena & Cruz-Casallas (2007), independiente que sean especies de aguas frías o cálidas, el CO se ajustó a ecuaciones logarítmicas y potenciales. En la presente investigación los datos ajustaron mejor a curvas de regresión potencial que se caracterizaron por presentar un alto coeficiente de determinación (R^2). Por su parte, la ecuación producto del análisis multivariado guarda relación con la ecuación que describen Andrews & Matsuda (1975) en Boyd (1979) en trabajos de respiración de bagre de canal desarrollando expresiones multivariadas de la forma: $CO = a + bP + cT$, que permiten estimar el consumo de oxígeno a partir de las dos variables, peso y temperatura, señalando que los datos se aplican a condiciones específicas del experimento, pudiendo ser utilizados para obtener valores aproximados para el consumo de O_2 por los peces en el estanque.

Andrews & Matsuda (1975) en Buentello *et al.* (2000) señalan que en el bagre de canal la tasa de consumo de oxígeno en función de la alimentación puede variar incrementándose 1,45 veces en peces de 100 g. Además, Andrews & Matsuda (1975) en Boyd (1990) reportaron que el bagre de canal bajo condiciones ambientales constantes disminuyó su tasa de respiración después de la alimentación como sigue: inmediatamente después de la alimentación $520 \text{ mg } O_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$; 1 h después de la alimentación, $680 \text{ mg } O_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, ayuno nocturno $380 \text{ mg } O_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$; ayuno de tres

días $290 \text{ mg } O_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$; ayuno de nueve días $290 \text{ mg } O_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Es decir, la tasa de respiración aumenta con el incremento de la actividad; mientras que a medida que se prolonga el ayuno el consumo de oxígeno disminuye. Estos resultados nos permiten recomendar que en una siguiente fase de experimentación se debiera realizar el estudio bajo condiciones de alimentación (metabolismo de actividad); para estimar el consumo de oxígeno en condiciones prolongada de ayuno tal como el reportado en bagre de canal. No obstante la interpretación del consumo de oxígeno y su aplicación en una acuicultura más intensiva dependerá de la tasa de alimentación en los cultivos.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece a la Secretaría Nacional de Educación Superior Ciencia Tecnología e Innovación del Ecuador (SENESCYT), por el financiamiento de la beca que condujo a esta investigación; a la Universidad Estatal Península de Santa Elena del Ecuador, por su apoyo económico; a las profesoras Jessy Vargas y Elsa Vega de la Universidad Nacional Agraria La Molina por el soporte logístico y técnico brindado en el Laboratorio de Acuicultura; al Profesor José Carlos Gastelú por la logística en el transporte de los organismos y a los evaluadores del trabajo por sus valiosos aportes.

REFERENCIAS

- Aliaga, C. 2004. Variabilidad genética de *Colossoma macropomum* y *Piaractus brachyomus* en la región del Alto Madera (Amazonía Boliviana) para el análisis del polimorfismo de la longitud de secuencias intrónicas (EPIC-PCR). Tesis Licenciatura en Biología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 103 pp.
- Barbosa, A.C., P.M.F. Ferreira, R.N. Souza & J.M. Barbosa. 2009. Avaliação da taxa metabólica do tambaqui (*Colossoma macropomum*) e da tilápia-donilo (*Oreochromis niloticus*). Rev. Bras. Eng. Pesca, 4(2): 46-55.
- Boyd, C. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Birmingham Publishing, Alabama, 482 pp.
- Brauner, C.J. & A.L. Val. 2006. Oxygen transfer. In: A.L. Val, V.M.F. Almeida & D.J. Randall (eds.). The physiology of tropical fishes. Academic Press, New York, 21: 277-306.
- Buentello, J.A., D.M. Gatlin III & W.H. Neill. 2000. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). Aquaculture, 182(3-4): 339-352.

- Brett, J.R. & D. Groves. 1979. Physiological energetics. In: W.S. Hoar & D.J. Randall (eds.). Fish physiology. Academic Press, New York, 8: 279-352.
- Carvalho, G.L. & C. Rodrigues. 2009. Impact of pond management on tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier), production during growth-out phase. *Aquacult. Res.*, 40: 825-832.
- Centeno, L., R. Silva-Acuña, R. Barrios, R.S. Lugo, C. Matute & J.L. Pérez. 2007. Hematological characteristics of the cachama *Colossoma macropomum* in three phases of growth in Delta Amacuro state, Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 25(4): 237-243.
- Cerezo-Valverde, J. & B. García-García. 2004. Influencia del peso y la temperatura sobre el consumo de oxígeno de rutina del dentón común (*Dentex dentex* Linnaeus, 1758). *Rev. Aquat.*, 21: 16-24.
- Clausen, R.G. 1936. Oxygen consumption in freshwater fishes. *Ecology*, 17: 216-226.
- Dañino, A. & O. Nash. 2008. Crecimiento, sobrevivencia y parámetros hematológicos de juveniles de paco, *Piaractus brachypomus* y gamitana *Colossoma macropomum* cultivados en dos tipos de ambiente. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú, 91 pp.
- De La Gándara, F. 2003. Efecto de diversos factores sobre el consumo de oxígeno de juveniles de seriola *Seriola dumerili* (Risso, 1810) en condiciones de cultivo. Tesis de Doctorado en Oceanografía, Instituto Español de Oceanografía, Universidad de Murcia, Murcia, 279 pp.
- Dias De Oliveira, R. 2003. Efeitos da temperatura nas respostas cardio-respiratórias e na respiração aérea acessória de jeju, *Hoplerythrinus unitaeniatus* (Erythrinidae) aclimatação a 15, 20, 25 e 30°C e submetidos a variações de O₂ ambiental. Tesis de Doctorado en Ecología y Recursos Naturales, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 76 pp.
- Ferreira, P.M.F., J.M. Barbosa, E.L. Santos, M.R. Lima & J.A.L. Cabral. 2009. Efeito da temperatura sobre a taxa metabólica da carpa-comum *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758). *Rev. Bras. Eng. Pesca*, 4(2): 1-10.
- Fidhiany, L. & K. Winckler. 1995. Specific oxygen consumption in two life stages of the cichlid fish *Cichlasoma nigrofasciatum*. *Thermochim. Acta*, 251: 283-291.
- Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES). 2004. Manual de cultivo de gamitana. http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBME/NU4/manual_gamitana.pdf. Revisado: 15 julio 2012.
- Jover, M. 2009. La energía en la nutrición de los peces. In: F. Sanz (ed.). La nutrición y alimentación en piscicultura. Publicaciones Científicas y Tecnológicas de la Fundación Observatorio Español de Acuicultura, Madrid, pp. 50-51.
- Lacerda, I.A., E.T. De Araújo-Neto, S. Leite-Silva, A. Ferreira-Lima, M. Lima De Araújo & J.M. Barbosa. 2010. Efeito do sistema heterotrófico no crescimento do Tambaqui (*Colossoma macropomum*). X Jornada de Ensino, Pesquisa E Extensão-Jepex2010-UFRPE: Recife, 18 a 22 de octubre 2010.
- Merino, G.E., D.E. Conklin & R.H. Piedrahita, 2011. Dial rhythms of oxygen consumption rates of California halibut (*Paralichthys californicus*) under culture in a recirculating system. *Aquacult. Eng.*, 45: 28-34.
- Merino, G.E., R.H. Piedrahita & D.E. Conklin. 2009. Routine oxygen consumption rates of California halibut (*Paralichthys californicus*) juveniles under farm-like conditions. *Aquacult. Eng.*, 41: 166-175.
- Montagna, M.C. & J. Parma de Croux. 2001. Consumo de oxígeno en *Pimelodus albicans* (Pisces, Pimelodidae) en relación con la masa corporal y la temperatura. *Natura Neotropicalis*, 32(1): 49-57.
- Nerici, C., G.E. Merino & A. Silva. 2012. Effects of two temperatures on the oxygen consumption rates of *Seriola violacea* (palm fish) juveniles under rearing conditions. *Aquacult. Eng.*, 48: 40-46.
- Parma De Croux, M.J. 1983. Metabolismo de rutina de *Hoplia smalabaricus malabaricus* (Bloch, 1974) (Osteichthyes, Erythrinidae). *Rev. Bras. Zool.*, 1(3): 217-222.
- Parma De Croux, M.J. & E. Lorenzatti. 1981. Metabolismo de rutina de *Pimelodus maculatus* (Lac) (Pisces, Pimelodidae). *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 12: 20-26.
- Peñuela-Hernández, Z., G. Hernández, J.R. Corredor & P.E. Cruz-Casallas. 2007. Consumo de oxígeno en cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) durante diferentes etapas de desarrollo corporal. *Orinoquia*, 11(1): 49-55.
- Poleo, G., J.V. Aranbarrio, L. Mendoza & O. Romero. 2011. Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, *Pesqui. Agropecu. Bras.*, 46(4): 429-437.
- Puente, E. 2009. Respuestas fisiológicas de juveniles de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, a condiciones oscilantes de oxígeno disuelto y temperatura. Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur, 161 pp.
- Saint-Paul, U. 1983. Investigations on the respiration of the neotropical fish, *Colossoma macropomum* (Serrasalimidae). The influence of weight and temperature on the routine oxygen consumption. *Amazoniana*, 7: 433-43.

- Sastre, O.F., G. Hernández & P.E. Cruz-Casallas. 2004. Influencia del peso corporal y de la temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Rev. Colomb. Cienc. Pec., 17: 11-16.
- Val, A.L. 1996. Respiratory aspects of fish of the Amazon. National Institute for Amazon Research INPA, Manaus, pp. 69-73.
- Valbuena-Villareal, R.D. & P.E. Cruz-Casallas. 2007. Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis* sp.). Orinoquia, 10(1): 57-63.
- Valbuena, M., Y. Velasco-Santamaría & P.E. Cruz-Casallas. 2006. Efecto del peso corporal sobre el consumo de oxígeno en yamú *Brycon amazonicus* (Spix & Agassiz, 1829): reporte preliminar. Rev. Colomb. Cienc. Pec., 19(2): 175-179.
- Vinatea, L. 2005. Presentación: prevención de enfermedades a través del manejo de la calidad del agua en camaronicultura marina. Curso Calidad de Agua y Comunidades Microbiológicas, NICOVITA, Salinas, pp. 8-9.

Received: 5 March 2014; Accepted 7 July 2014