

CONSUMO DE OXÍGENO DEL HÍBRIDO DE TILAPIA ROJA FLORIDA *Oreochromis* sp. EN AGUA DE MAR, BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO

OXYGEN CONSUMPTION OF THE FLORIDA RED TILAPIA HYBRID *Oreochromis* sp. IN SEAWATER, UNDER LABORATORY CONDITIONS

JOSÉ PATTI, MONTSERRAT ESTEVE, JUAN IGNACIO GAVIRIA

Universidad de Oriente, Núcleo Nueva Esparta, Departamento de Acuicultura, Escuela de Ciencias
Aplicadas del Mar. E-mail: jose.patti@ne.udo.edu.ve / montserrat_esteve@hotmail.com

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la masa corporal sobre el consumo de oxígeno del híbrido de tilapia roja, *Oreochromis* sp., en agua de mar a 38 ups (29,3°C). Los peces, con peso entre 0,97 y 8,14 g, fueron machos por reversión hormonal. La aclimatación al agua de mar se realizó aumentando la salinidad a razón de 5 ups/día. Las respirometrías se realizaron individualmente en cámaras de 4 L con un flujo de 20 ± 2 mL/min. El nivel de oxígeno se determinó cada hora y durante 3 h, luego de una hora de aclimatación a las condiciones experimentales. Siguiendo el protocolo de transferencia descrito se obtuvo un 100% de sobrevivencia. La tasa metabólica (media \pm D.E., $n = 40$) fue de $0,724 \pm 0,053$ mL O₂ durante la primera hora; $0,942 \pm 0,066$ mL O₂ durante la segunda y $1,116 \pm 0,076$ mL O₂ durante la tercera. Hubo diferencias muy significativas ($p < 0,01$) del consumo de oxígeno entre horas, observándose una tendencia a la estabilización. Se obtuvo una relación directa entre la tasa metabólica de la tercera hora y el peso húmedo, con un coeficiente de correlación muy significativo de 0,83 ($t = 11,2$; $p < 0,01$), y la siguiente ecuación: tasa metabólica (mL O₂/h) = $0,4909 \times \text{peso húmedo}^{0,781}$. La intensidad metabólica durante la tercera hora, presentó una relación inversa con el peso húmedo, con un coeficiente de correlación muy significativo igual a $-0,63$ ($t = 7,9$; $p < 0,01$), y la siguiente ecuación: intensidad metabólica (mL O₂/g/h) = $0,6726 \times \text{peso húmedo}^{-0,5536}$.

PALABRAS CLAVE: *Oreochromis* sp., consumo de oxígeno, tasa e intensidad metabólicas.

ABSTRACT

The effect of body mass on the oxygen consumption of the red tilapia hybrid, *Oreochromis* sp., was evaluated in individuals acclimatized in sea water at 38 ups (29.3°C). The fish with weights in the range 0.97 to 8.14 g were hormonally reversed to males. Acclimatization to sea water was performed increasing salinity at a rate of 5 ups/day. The respirometric measures were individually undertaken in chambers of 4 l with a flow of 20 ± 2 mL/min. The oxygen concentration in the water was determined every hour during 3 h, after one hour acclimatization to the experimental conditions. A 100% survival was observed following the described transference protocol. The metabolic rate (average \pm S.D., $n = 40$) was 0.724 ± 0.053 mL O₂ during the first experimental hour; 0.942 ± 0.066 mL O₂ for the second and 1.116 ± 0.076 mL O₂ for the third hour. There were very significant differences ($p < 0.01$) of the metabolic rate among hours, with a trend to become steady. There was a direct relationship between the metabolic rate of the third hour and the wet weight, with a very significant coefficient of correlation equal to 0,83 ($t = 11,2$; $p < 0,01$), and the following equation: metabolic rate (mL O₂/h) = $0,4909 \times \text{wet weight}^{0,781}$. There was an inverse relationship between the metabolic intensity of the third hour and the wet weight, with a very significant coefficient of correlation equal to $-0,63$ ($t = 7,9$; $p < 0,01$), and the following equation: metabolic intensity (mL O₂/g/h) = $0,6726 \times \text{wet weight}^{0,5536}$.

KEY WORDS: *Oreochromis* sp., oxygen consumption, metabolics rate and intensity.

INTRODUCCIÓN

La tilapia se ubica entre las diez especies con mayor producción en la acuicultura mundial, sumando para el año 2008 un total de 2,4 millones de toneladas, que son equivalentes al 8% de los peces cultivados en aguas dulce y salobres (FAO 2010). En América latina y el Caribe, contribuyó con 86.495 toneladas durante 2005 (Morales y Morales 2006, Vannuccini 2006). El consumo de pescado en Centro América y el Caribe (9,4 kg *per capita*), y Suramérica (8,7 kg *per capita*), está muy por

debajo del estimado en el resto del mundo, por encima de 19,9 kg *per capita*, y similar al de África (8,2 kg *per capita*) (Morales y Morales 2006). Urge promover el consumo de pescado como fuente proteica de origen animal, siendo la tilapia una ventajosa opción por su fácil cultivo, alta aceptación, precio asequible y tolerancia a medios salobres.

La creciente demanda de agua dulce para usos doméstico, industrial, recreacional y agrícola, limita el desarrollo del cultivo de especies dulceacuícolas, de allí

el interés generado en la cría de especies eurihalinas, en especial de los híbridos del género *Oreochromis* los cuales han demostrado tener gran potencial para el cultivo en agua de mar, aun a 41 ups (Suresh y Lin 1992, Mena-Herrera *et al.* 2002, El-Zaeem *et al.* 2011). La especie es cultivada en granjas camaroneras de países como Ecuador, que han abandonado la actividad forzada por inconvenientes técnicos y financieros, siendo también una alternativa importante para Centro América y las islas caribeñas, y regiones similares o costeras (Watanabe *et al.* 1991, Jory *et al.* 1999, Castillo 2002).

El consumo de oxígeno como parámetro indicador del metabolismo en los organismos aeróbicos, permite determinar el flujo de agua o la aireación requeridos para mantener los niveles de oxígeno disuelto que demanda una dada especie sometida a cultivo. Fluctuaciones a valores no adecuados pueden causar desde un descenso en las tasas de crecimiento o de sobrevivencia, hasta un incremento en la susceptibilidad a las enfermedades y mortalidades masivas (Saavedra 2006). También, durante los procesos de aclimatación, empaque y transporte de alevines o adultos, el manejo adecuado de los niveles de oxígeno disuelto es fundamental para culminar estas etapas exitosamente (Peñuela-Hernández *et al.* 2007). De manera indirecta, el gasto energético del pez proporciona información esencial para la formulación de dietas optimizadas (Higuera 1987, Romero 1995).

Considerando el alto valor comercial de la tilapia y el potencial de cultivo en aguas salobre y marina, los objetivos del presente trabajo fueron medir el consumo de oxígeno del híbrido de tilapia roja Florida *Oreochromis* sp. mantenido en agua a 38 ups, y determinar la relación entre dicho parámetro y la masa corporal del pez.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron con peces dihíbridos de *Oreochromis*, obtenidos por el cruce de *O. mossambicus* macho x *O. urolepsis hornorum* hembra, denominados línea tilapia roja Florida, reversados sexualmente a machos y proporcionados por la empresa Acuacria C.A. ubicada en la ciudad de Valencia, estado Carabobo, Venezuela. Los ejemplares experimentales se encontraban en un rango de peso entre 0,97 y 8,14 g (entre 39 y 80 mm de longitud total).

Los peces fueron aclimatados a las condiciones del laboratorio por un período de 24 horas. La transferencia al agua de mar se realizó incrementando progresivamente la salinidad a razón de 5 % por día (Watanabe *et al.* 1988)

hasta alcanzar la salinidad de 38 ups, colocándose cuatro ejemplares por acuario de 20 L de capacidad. Durante la aclimatación la alimentación se efectuó con dos raciones de alimento comercial: una temprano en la mañana (7:30 a 8:30 am) y otra al atardecer (5:30 a 6:30 pm). Se observó diariamente el comportamiento de los peces: respuesta al alimento, actividad, comportamiento gregario, entre otros, así como, la presencia de enfermedades.

La transferencia se realizó a razón de grupos de 4 peces por día, con un día de diferencia cada uno, durante el proceso 8 días. Una vez alcanzada la salinidad final de 38 ups, se procedió a someter a los peces a un período de ayuna por 48 horas, al término del cual se efectuó la respirometría. De esta manera cada grupo recibió el mismo tratamiento (ocho días de transferencia, dos días de ayuno y la respirometría). Se realizaron cuatro mediciones diarias cada tres horas, durante 10 días para un total de 40 mediciones por hora, 120 en total durante el periodo experimental.

Se contó con 4 cámaras respirométricas, en las que se colocó un organismo por cámara, iniciándose los registros de los valores de oxígeno después que el pez se aclimató a la cámara y se había ajustado el flujo deseado (60 minutos). A partir de ese momento, el consumo de oxígeno se determinó cada hora por un lapso de 3 h. Las experiencias se realizaron siempre en el mismo laboratorio y a la misma hora. Se determinó el consumo de oxígeno de las cuatro cámaras sin pez, obteniéndose un rango de error entre 0,81 y 1,14%.

Para la medición del consumo de oxígeno se utilizó una cámara respirométrica de 4 L de capacidad con un flujo continuo de 20 ± 2 mL/min. La cámara contaba con una válvula ubicada en la parte superior para eliminar burbujas de aire que pudieran producirse al llenado. Para no perturbar a los ejemplares durante la respirometría, se colocó una cortina negra enfrente de las cámaras. La temperatura se mantuvo a $29,30 \pm 0,09$ °C durante la aclimatación y el periodo experimental. El fotoperiodo fue 12:12. El consumo de oxígeno se calculó según Jobling y Spencer (1980) como:

Consumo de oxígeno = $(A \times F \times t)/1000$, en la cual,

A = diferencia de la concentración de oxígeno a la entrada y a la salida de la cámara respirométrica (mL/L)

F = flujo de agua a través de la cámara respirométrica (mL/min)

t = tiempo entre cada toma de muestras (min)

Se determinó la relación peso húmedo-talla de los organismos experimentales. Los resultados del consumo de oxígeno fueron expresados en términos del metabolismo por unidad de tiempo ó tasa metabólica (mL O₂/h), y de ese valor por unidad de peso corporal ó intensidad metabólica (mL O₂/g/h) (Eckert *et al.* 1990). Luego de comprobar su distribución normal, los datos fueron analizados mediante Análisis de Varianza Multifactorial (Programa Statgraphic 5.1) para el consumo de oxígeno total durante 3 h, con el peso como variante, entre días, horas y cámaras, y la interacción entre día y hora. Como prueba *a posteriori* se usó el test de Student-Newman-Keuls. Se aplicó Análisis de Regresión Modelo II para determinar las relaciones entre la tasa y la intensidad metabólicas de la tercera hora respecto al peso húmedo (Sokal y Rolhf 1995).

RESULTADOS

Todos los organismos sobrevivieron la transferencia al agua de mar, exhibiendo comportamiento y aspecto normales. La relación peso húmedo-talla mostró un coeficiente de correlación altamente significativo igual a 0,9905 ($t = 44,8; p < 0,001$), generando la ecuación (Figura 1):

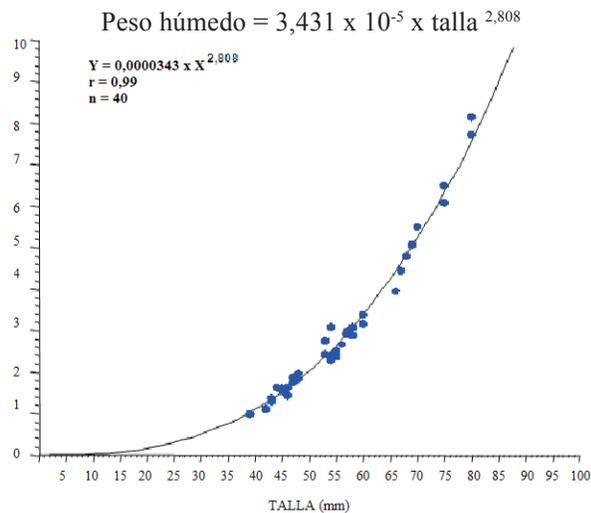


Figura 1. Curva de regresión del peso en función de la talla para los ejemplares experimentales de *Oreochromis* sp.

Los valores de tasa e intensidad metabólicas durante cada una de las 3 h experimentales se recogen en la Tabla 1. Se registró un aumento de 23,14% en el consumo de oxígeno durante la segunda hora de medición con respecto a la primera, y de 15,6% de la tercera hora con respecto a la segunda. El análisis de varianza multifactorial para el consumo de oxígeno

mostró diferencias significativas respecto al peso, al día y la hora; las cámaras resultaron iguales entre sí, y no hubo interacción entre los días y las horas de medición (Tabla 2). El análisis *a posteriori* reveló que el oxígeno consumido durante cada una de las tres horas experimentales fue estadísticamente diferente (Tabla 3).

Tabla 1. Rangos mínimo y máximo, y medias (\pm D.S., desviación estándar) de la tasa (T.M.) e intensidad (I.M.) metabólicas, en el híbrido de *Oreochromis* sp. para cada hora de medición.

Horas		T.M. (mL O ₂ /h)	I.M. (mL O ₂ /g/h)
1	Rango	0,1887-1,4150	0,1225-0,4954
	Media \pm D.S	0,7240 \pm 0,0530	0,2652 \pm 0,013
2	Rango	0,2695-1,8732	0,1750-0,5974
	Media \pm D.S	0,9420 \pm 0,066	0,3491 \pm 0,0160
3	Rango	0,4312-2,2505	0,2239-0,7086
	Media \pm D.S	1,1162 \pm 0,072	0,4168 \pm 0,0190

Tabla 2. Análisis de varianza multifactor del consumo de oxígeno en el híbrido de *Oreochromis* sp. respecto al peso, al día y al tiempo experimentales, y a la cámara respirométrica.

Fuente Variación	Suma cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	F
Peso	1,09043	1	1,09043	27,468 **
Día	1,11662	9	0,12407	3,125 **
Hora	3,08896	2	1,54448	38,905 **
Cámara	0,14659	3	0,04886	1,231 ns
Interacción				
Día Horn	0,46137	18	0,02563	0,6460 ns
Residual	3,4140970	86	0,0396988	
Total	23,386082	119		

ns: no significativo

** : significativo

Tabla 3. Análisis *a posteriori* de la tasa metabólica del híbrido *Oreochromis* sp. respecto al tiempo experimental.

Hora	N	Media	Grupos Homogéneos
1	40	0,7240	
2	40	0,9420	
3	40	1,1162	

Se obtuvo una relación directa entre la tasa metabólica de la tercera hora y el peso húmedo, con un coeficiente de correlación muy significativo de 0,83 ($t = 11,2$; $p < 0,01$), y la siguiente ecuación (Figura 2):

$$\text{Tasa metabólica (mL O}_2\text{/h)} = 0,4909 \times \text{peso húmedo}^{0,781}$$

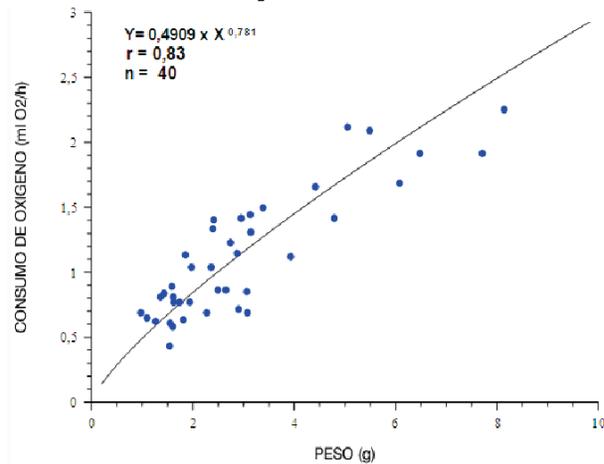


Figura 2. Curva de regresión de la tasa metabólica en función del peso durante la tercera hora para los ejemplares experimentales de *Oreochromis* sp.

La tasa metabólica por unidad de peso, durante la tercera hora, presentó una relación inversa con el peso húmedo del pez, obteniéndose un coeficiente de correlación muy significativo igual a $-0,63$ ($t = 7,9$; $p < 0,01$) y la siguiente ecuación (Figura 3):

$$\text{Intensidad metabólica (mL O}_2\text{/g/h)} = 0,6726 \times \text{peso húmedo}^{-0,5536}$$

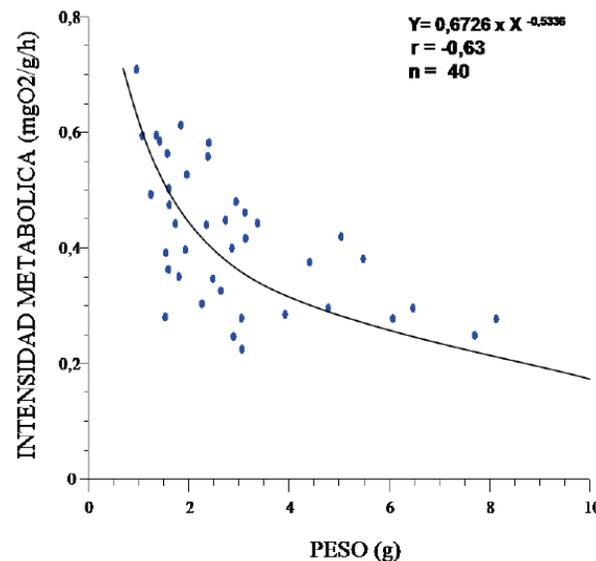


Figura 3. Curva de regresión de la intensidad metabólica en función del peso durante la tercera hora para los ejemplares experimentales de *Oreochromis* sp.

DISCUSIÓN

De acuerdo con Suresh y Lin (1992), la talla y el peso de los peces utilizados en esta experiencia están dentro del intervalo de alta tolerancia a cambios de salinidad. Watanabe *et al.* (1985) indican que la máxima capacidad osmorreguladora en tilapia azul y nilótica, se alcanza cuando los peces tienen entre 40 y 70 mm de longitud total. De igual forma, Berdayes (1991) encontró que híbridos de tilapia roja (*O. mossambicus* x *O. hornorum* con *O. mossambicus* var. albina) de 10 g exhibieron mayor tolerancia a incrementos de salinidad que los de más de 20 g.

Con relación al tiempo que requieren los peces para aclimatare a incrementos de salinidad, Lin *et al.* (2001) encontraron que, en condiciones de exposición aguda sin previa aclimatación, de agua dulce a 32 ups, las larvas de *O. mossambicus* mostraron regulación osmótica a corto plazo, alcanzando en 8 h igual contenido de agua tisular que aquellas aclimatadas durante 24 h. En adultos de la misma especie, Huang *et al.* (1989) y Morgan *et al.* (1997), encontraron que la osmolaridad y la concentración de cloruro del plasma se recuperaban dentro de las 24 a 48 h luego de la exposición al agua de mar. A pesar de esta capacidad de regulación osmoiónica, diversos autores han observado altas mortalidades en *O. mossambicus*, *O. niloticus* y la primera generación de los cruces mutuos, al transferir los peces en forma directa a medios hipertónicos (Watanabe *et al.* 1985, Villegas 1990, Berdayes 1991). Las observaciones mencionadas, sumadas al aspecto y comportamiento normal de los peces experimentales, indican que el protocolo de transferencia seguido en la presente experiencia, asegura que los organismos alcancen el balance osmoiónico. Aun cuando el género muestra amplia capacidad de aclimatación, la transferencia gradual de los peces a medios hipertónicos garantiza un estado fisiológico óptimo y máxima sobrevivencia.

Dado que la tilapia es ectoterma, la constancia de la temperatura durante el periodo experimental es indispensable. La escogencia del valor de este parámetro se fundamentó en que las máximas tasas de crecimiento ocurren entre 29° y 31°C, por lo que se considera un rango óptimo para la especie (Hepher 1993, Popma y Lovshin 1996). De igual manera, el sistema de aireación del agua suministrada a las cámaras respirométricas permitió mantener constante la oferta de oxígeno en todas las mediciones, a nivel de saturación a la temperatura y salinidad dadas. Las cámaras sin los peces arrojaron consumos muy bajos e iguales de acuerdo al análisis

estadístico, no pudiendo así alterar las mediciones realizadas.

Se encontró correlación directa entre el peso húmedo y la talla, con un coeficiente r de 0,99, la cual concuerda con los valores obtenidos por King (1996) para *T. zillii* y *T. mariae*, esto permite que cualquiera de dichos valores pueda ser utilizado para establecer relaciones de índice metabólico.

Silva (1995), con el mismo híbrido, y bajo diversas condiciones, encontró incremento del consumo de oxígeno y tendencia a la estabilización, durante las primeras 3h. El estrés ocasionado por la manipulación del pez al ser transferido a la cámara, y el confinamiento a un volumen menor, pueden provocar alteraciones fisiológicas que conlleven a una mayor demanda de oxígeno (Gil *et al.* 1993; Hephher 1993). Evaluaciones de la interrelación entre el estrés y la osmorregulación en *O. mossambicus*, demostraron que los peces aclimatados al agua dulce, medio isosmótico y agua de mar, y confinados durante 4 h, sufrieron un aumento significativo de cortisol y glucosa, así como ligeras alteraciones osmóticas, indicando que el confinamiento *per se* causa estrés (Cataldi *et al.* 2005). Por otra parte, el comportamiento gregario de la especie podría provocar cierta respuesta ante el aislamiento. Observaciones derivadas de un estudio para determinar la influencia del tamaño del grupo sobre la tasa metabólica, mostraron que el consumo de ejemplares machos *O. niloticus*, aislados en la cámara respirométrica, incrementaba cuando se colocaba un segundo ejemplar, y luego disminuía cuando los grupos eran de 4, 6 y 10 peces (Antoniou 1989). Estos resultados confirman que el comportamiento gregario/social de la especie afecta el metabolismo, y que la respuesta al aislamiento podría ser un incremento de la demanda de oxígeno. Por las razones discutidas y considerando la tendencia del consumo de oxígeno a estabilizarse durante las primeras tres horas de medición, se tomó el valor correspondiente a la tercera hora para calcular las relaciones entre los parámetros metabólicos y el peso del pez.

La constante “b”, que representa la variación de la tasa metabólica con el peso, tuvo un valor de 0,781, cercano al obtenido por otros autores. Entre éstos, Winberg (en Hephher 1993) luego de analizar abundante data obtenida en referencias bibliográficas, y de corregir las diferencias debidas a la temperatura, concluyó que “b” era similar para muchas especies de peces y aproximadamente igual a 0,800. Por su parte, Farmer y Beamish (1969), para *T. mossambica*, obtuvieron valores medios de 0,838 en agua dulce y 0,814 en agua a 30 ups. En otras especies

eurihalinas tales como *Oncorhynchus nerea* y *Kuhlia sandvicensis*, las pendientes tuvieron valores de 0,775 y 0,790, respectivamente (Brett 1965, Muir y Niimi 1972).

La intensidad metabólica guardó relación inversa y significativa con el peso, indicando que si bien la tasa metabólica aumenta a medida que los peces incrementan su biomasa, el consumo oxígeno por unidad de peso disminuye. Silva (1995) trabajando con la misma especie e igual sistema experimental, en agua dulce, a 26°C, y con peces entre 24,23 y 48,30 g, obtuvo una intensidad metabólica media de 0,113 mL O₂/g/h, la cual está dentro del intervalo de consumo durante la primera hora de medición (0,123 mL O₂/g/h). Valores de 0,110 mL O₂/g/h para *O. mossambicus*, 0,108 mL O₂/g/h para *T. sparmanii* y 0,097 mL O₂/g/h para *O. niloticus*, han sido reportados en agua dulce, a 25°C y para pesos entre 20 y 50 g (Caulton 1977, 1978; Grobler *et al.* 1989). Entre los valores de intensidad metabólica reportados en la bibliografía, el más similar al obtenido en el presente trabajo es el del híbrido *O. aureus* x *O. niloticus*, en agua dulce, a 28°C, y con un peso entre 175 y 470 g, de 0,318 mL O₂/g/h (Zohar *et al.* 1992). Estos autores observaron también el marcado efecto de la temperatura sobre la intensidad metabólica, la cual pasó de 0,173 mL O₂/g/h a 25°C, al valor referido anteriormente, de 0,318 mL O₂/g/h a 28°C, un incremento metabólico de 1,83 con sólo 3°C más de temperatura.

La exposición al agua de mar conlleva al incremento en el tamaño de las células de cloruro del epitelio branquial, en la densidad, tamaño y contenido de las mitocondrias, de los niveles de cortisol, y de las actividades de las enzimas Na⁺Cl⁻-ATPasa y creatinaquinasa, para suplir los requerimientos energéticos de la aclimatación (Weng *et al.* 2002, Wood *et al.* 2002, Sharaf *et al.* 2004). Así, parte de los altos valores de consumo de oxígeno registrados en este trabajo pueden ser consecuencia de la alta temperatura a la cual se realizaron las experiencias, así como del menor peso de los peces, y al gasto energético invertido en la regulación osmoiónica a 38 ups. A estas variables se suma la respuesta de comportamiento del organismo, generadora de estrés según las condiciones impuestas y el grado de domesticación de la especie experimental.

CONCLUSIONES

Se obtuvo una relación directa entre el peso húmedo del pez y la tasa metabólica, obteniéndose un coeficiente de correlación muy significativo de 0,83 ($t = 11,2$; $p < 0,01$), y la siguiente ecuación:

Tasa metabólica (mL O₂/h) = 0,4909 x peso húmedo^{0,781}

Se obtuvo una relación inversa entre el peso húmedo del pez y la intensidad metabólica, obteniéndose un coeficiente de correlación muy significativo de -0,63 (t = 7,9; p < 0,01), y la siguiente ecuación:

Intensidad metabólica (mL O₂/g/h) = 0,6726 x peso húmedo^{-0,554}

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONIOU E. 1989. The influence of group size on oxygen consumption and behavior of fish. *Water Res.* 24:69 pp.
- BERDAYES J. 1991. Adaptación de tilapias rojas, *Oreochromis mossambicus* x *O. hornorum* y *O. mossambicus* var. albina al agua salada. *Rev. Cub. Inv. Pesq.* 16(1/2):40-61.
- BRETT J. 1965. The relation of size to rate oxygen consumption and sustained swimming speed of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *J. Fish Res. Board Can.* 22(6):1491-1501.
- CASTILLO L.F. 2002. Ecuador 2002: Red tilapia vs. aquacultured shrimp. *Panor. Acuíc.* 7(6):14-15.
- CATALDI E., MANDICH A., OZZIMO A., CATAUDELLA S. 2005. The interrelationships between stress and osmoregulation in the euryhaline fish, *Oreochromis mossambicus*. *J. Appl. Ichthyol.* 21(3):229-237.
- CAULTON M.S. 1977. The effect of temperature on routine metabolism in *Tilapia rendalli* boulenger. *J. Fish Biol.* 11:554-553.
- CAULTON M.S. 1978. The effect of temperature and mass on routine metabolism in *Sarotherodon (Tilapia) mossambicus* (Peters). *J. Fish Biol.* 13:195-201.
- ECKERT R., RANDALL D., AUGUSTINE G. 1990. Fisiología Animal, mecanismos y adaptaciones. Editorial Interamericana, Madrid. 523 pp.
- EL-ZAEEM S. Y., MORSI M., AHMED M., EL-SAYED M., EL-MAREMIE H.A. 2011. Production of salinity tolerant Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* through traditional and modern breeding methods: II. Application of genetically modified breeding by introducing foreign DNA into fish gonads. *African J. Biotech.* 10 (4): 684-695.
- FARMER G., BEAMISH F. 1969. Oxygen consumption of *Tilapia nilotica* in relation to swimming speed and salinity. *J. Fish Res. Board Can.* 26:2807-2821.
- FAO. 2010. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma. 219 pp.
- GIL H.A., CORREA M., RODRÍGUEZ-GRAU J. 1993. Efecto del pH y del aluminio en el consumo de oxígeno del pez *Astyanax bimaculatus*. *Acta Cient. Venez.* 44:240-244.
- GROBLER E., VAN VUREN J.H.J., DU PREEZ H.H. 1989. Routine oxygen consumption of *Tilapia sparrmanii* (Cichlidae) following acute exposure to atrazine. *Comp. Biochem. Physiol.* 93C(1):37-42.
- HEPHER B. 1993. Nutrición de Peces Comerciales en Estanques. Grupo Noriega Editores, México. 406 pp.
- HIGUERA M. 1987. Diseños y métodos experimentales de evaluación de dietas. J. Espinoza y V. Labarta (Eds). Plan de Formación de Técnicos Superiores en Acuicultura. CAICIT. pp. 291-318.
- HUANG P.P, SUN C.M., WU S.M. 1989. Changes of plasma osmolality, chloride concentration and gill Na-K-ATPase activity in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) during seawater acclimation. *Mar. Biol.* 100:295-299.
- JOBLING M., SPENCER D. 1980. Effects of feeding on metabolic rate, and the specific dynamic action in plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J. Fish Biol.* 43:19-25.
- JOBLING M. 1982. A study of some factors affecting rates of oxygen consumption of plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J. Fish Biol.* 20(5):501-516.
- JORY D., CABRERA T., POLANCO B., SÁNCHEZ R., MILLÁN J., ROSAS J., ALCESTE C., USECHE M., AGUDO R. 1999. Aquaculture in Venezuela: perspectives. *Aquacult. Mag.* 25(5):55-59.
- KING R. 1996. Length-weight relationships of nigerian freshwater fishes. *NAGA.* 19(3): 49-52.

- LIN L.Y., WENG C.F., HWANG P.P. 2001. Regulation of drinking rate in euryhaline tilapia larvae (*Oreochromis mossambicus*) during salinity challenges. *Physiol. Biol. Zool.* 74:171-177.
- MENA-HERRERA A., SUMANO-LÓPEZ H., MACÍAS-ZAMORA R. 2002. Efecto de la salinidad en el crecimiento de la tilapia híbrida *Oreochromis mossambicus* (Peters) x *O. nilotiticus* (Linnaeus), cultivadas bajo condiciones de laboratorio. *Vet. Mex.* 33(1):39-48.
- MORALES V.V., MORALES R. 2006. Síntesis regional del desarrollo de la acuicultura. I. América latina y el Caribe – 2005. FAO Circular Pesca N°1017/1, 194 pp.
- MORGAN J.D., SAKAMOTO T., GRAU E.G., IWAMA G.K. 1997. Physiological and respiratory responses of the Mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) to salinity acclimation. *Comp. Biochem. Physiol.* 117A:391-398.
- MIUR B.S., NIIMI A.J. 1972. Oxygen consumption in euryhaline fish aholehole, *Kuhlis sandvicensis*, with reference to salinity, swimming and food consumption. *J. Fish. Res. Board Can.* 29: 67-77.
- PEÑUELA-HERNÁNDEZ Z., HERNÁNDEZ-ARÉVALO G., CORREDOR J.R., CRUZ-CASALLAS P.E. 2007. Consumo de oxígeno en cachama blanca *Piaractus brachypomus* durante diferentes etapas de desarrollo corporal. *Orinoquia.* 11(1): 49-55.
- POPMA T.J., LOVSHIN L.L. 1996. Worldwide prospects for commercial production of tilapia. Research and Development Series N°41, Auburn University, Alabama, U.S.A., 23 pp.
- ROMERO C. 1995. Consumo de oxígeno, balance energético y efecto de inmunoestimulantes en el rodaballo cultivado *Scophthalmus maximus* L. Tesis Doctoral en Biología. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela, España, 189 pp.
- SAAVEDRA M.A. 2006. Manual de manejo del cultivo de tilapia. Coastal Resources Center. Univ. Rhode Island. 90 pp.
- SILVA J. 1995. Efecto del nivel de la ración de alimento sobre la tasa metabólica del híbrido de tilapia *Oreochromis* sp. Tesis de Licenciatura en Acuicultura. Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar. Universidad de Oriente, Venezuela, 82 pp.
- SHARAF M.M., SHARAF S.M., EL-MARAKBY H.I. 2004. The effect of acclimatization of freshwater red hybrid tilapia in marine water. *Pak. J. Biol. Sci.* 7(4):628-632.
- SOKAL R. R., ROHLF F.G. 1995. *Biometry*. W.H. Freeman Co., NY. 859 pp.
- SURESH A., LIN C. 1992. Tilapia culture in saline waters: a review. *Aquacult.* 106: 201-226.
- VANNUCCINI, S. 2006. Trends in aquaculture production. Consulta on line: www.fao.org/fi/website/FIRetrieveAction.do?dom=topicdfid=3463. Consulta 19.03.2007.
- VILLEGAS C. 1991. Growth and Survival of *Oreochromis mossambicus*, *O. niloticus*, and their hybrids at various salinities. SEAFDEC. *Asian Aquacult.* 13(1):3-5.
- WATANABE W.O., KUO C., HUANG C. 1985. The ontogeny of salinity tolerance in the tilapias *Oreochromis aureus*, *O. niloticus* y *O. mossambicus* x *O. niloticus* hybrid, spawned and reared in freshwater. *Aquacult.* 47: 353-367.
- WATANABE W. O., WICKLUND R.I., OLLA B.L., ERNST D.H. 1991. Rearing experiments with Florida red tilapia for saltwater culture. Waugh G.T., Goodwin M.H. (Eds.). *Proc. 40th Ann. Gulf Carib. Fish. Inst.* 40:405-412.
- WENG C.F., CHIANG C.C., GONG H.Y., CHENG M.H.C., LIN C.J.F. 2002. Acute changes in gill Na-K-ATPase and creatine kinase in response to salinity changes in the euryhaline teleost, tilapia (*Oreochromis mossambica*). *Physiol. Biol. Zool.* 75:29-36.
- WOOD C.M., WILSON P., BERGMAN H.L., BERGMAN A.N., LAURENT P., OTIANG'A-OWITI G. 2002. Obligatory urea production and the cost of living in the Magadi tilapia revealed by acclimation to reduced salinity and alkalinity. *Physiol. Biol. Zool.* 75:111-120.
- XIAOJUN X., RUYUNG S. 1990. The bioenergetics of the

- Southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen).
I. Resting metabolic rate as a function of body weight and temperature. *Physiol. Zool.* 63(6): 1181-1195.
- YAMAMOTO K. 1992. Relationship of respiration to body weight in the tilapia *Oreochromis niloticus* under resting and normoxic conditions. *Comp. Biochem. Physiol.* 103A(1):81-83.
- ZOHAR G., BEJERANO I., WISHKOVSKY A. 1992. The effect of fish weight, water temperature, and dissolved oxygen concentration on the oxygen consumption of tilapia. *Fish. Fishbreed Isr.* 25(3):166-172.