

Influencia del peso y la temperatura sobre el consumo de oxígeno de rutina del Dentón común (*Dentex dentex* Linnaeus, 1758)

Jesús Cerezo Valverde, Benjamín García García

IMIDA-Acuicultura. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de la Región de Murcia.
Apdo. 65. 30740 San Pedro del Pinatar. Murcia. (España)
e-mail: benjamin.garcia@carm.es

Resumen

Se determinó el consumo de oxígeno de rutina (COR) en ejemplares de Dentón Común (*Dentex dentex*) de pesos corporales (P) comprendidos entre 117 y 746 g y temperaturas (T) de 13,9 a 28,1°C. Las medidas se obtuvieron por descenso de la concentración de oxígeno en función del tiempo en circuito cerrado de agua. Los valores de COR se correlacionaron significativamente con el peso (Coeficiente de correlación parcial = 0,97; $p < 0,001$) y la temperatura (Coeficiente de correlación parcial = 0,93; $p < 0,01$) y se ajustaron mediante análisis de regresión múltiple a la ecuación $\ln \text{COR} = -4,675 + 0,823 \cdot \ln P + 1,233 \cdot \ln T$ ($R^2_{\text{aj.}} = 0,96$; $p < 0,001$). Finalmente, los resultados obtenidos se compararon con otras especies de interés en acuicultura.

Palabras clave: Consumo de oxígeno de rutina, peso, temperatura, *Dentex dentex*

Summary

Influence of weight and temperature in consume of routine oxygen consumption in Common Dentex (*Dentex dentex* Linnaeus, 1758)

Routine oxygen consumption (ROC) was obtained in Common Dentex (*Dentex dentex*) with body weights (W) between 117 and 746 g at temperatures (T) of 13,9 to 28,1°C. The measurements were made by closed respirometry from the drop in oxygen concentration. Routine oxygen consumption values were significantly influenced by weight (Partial correlation coefficient = 0,97; $p < 0,001$) and temperature (Partial correlation coefficient = 0,93; $p < 0,01$) and were fitted by multiple regression analysis to the equation $\ln \text{COR} = -4,675 + 0,823 \cdot \ln P + 1,233 \cdot \ln T$ ($R^2_{\text{ad.}} = 0,96$; $p < 0,001$). Finally, these results were compared with other species of interest in aquaculture.

Introducción

La determinación del consumo de oxígeno es una forma de calorimetría indirecta que permite conocer la energía producida por los diversos procesos metabólicos. En concreto, el consumo de oxígeno de rutina representa una estimación de los requerimientos de energía necesarios para mantener el metabolismo basal más la actividad espontánea (Waller, 1992). Además, esta medida puede ser útil para estimar los caudales de agua necesarios para cubrir los requerimientos de oxígeno de una especie en situación de rutina. No obstante, el consumo de oxígeno puede ser altamente variable en función de diversos factores, como el peso y la temperatura, razón por la cual numerosos autores lo describen mediante modelos matemáticos en función de estas dos variables (por ejemplo: Liao, 1971; Brett y Glass, 1973; Muller-Feuga, 1978; Lemarie y cols, 1991; McLean y cols, 1993; García García, 1994; Grottum y Sigholt, 1998). Generalmente, estos modelos tienen en común una relación entre el consumo de oxígeno y el peso del tipo $\text{CO} = a \cdot P^b$, donde "CO" es el consumo

de oxígeno de un individuo, "a" es una constante que representa el consumo de oxígeno de un pez de una unidad de peso, "P" es el peso corporal y "b" es el exponente del peso. En cuanto al efecto de la temperatura los modelos establecen relaciones más variadas, dependiendo sobre todo del rango de temperatura considerado. En este caso, nos proponemos comprobar la influencia del peso y la temperatura sobre el consumo de oxígeno de rutina de *D. dentex*, y buscar un modelo que explique satisfactoriamente la relación entre estas variables.

Material y métodos

Animales de experimentación: captura, mantenimiento y alimentación

Se emplearon ejemplares de Dentón Común (*Dentex dentex*) capturados mediante curricán de fondo por los pescadores locales de San Pedro del Pinatar (Murcia, España). Posteriormente, se trasladaron al laboratorio y se estabularon en tanques rectangulares de 3 500 l (lote principal). Estos tanques estaban dispuestos en circuito abierto de agua procedente del mar, con temperatura, fotoperiodo y salinidad naturales (37° 50'N, 0° 46'O), y una concentración de oxígeno por encima del 70%.

Una vez adaptados se alojaron en acuarios de 180 l donde se llevarían a cabo los experimentos. Los acuarios estaban en circuito cerrado de agua, sometida a filtración biológica y mecánica, con una lámpara ultravioleta, y un sistema de refrigeración-calefacción que permitía alcanzar la temperatura deseada en los experimentos. Los parámetros de calidad del agua en los acuarios fueron: [O₂] > 80%; Salinidad = 38‰; pH = 8,1; (NO₂)⁻ < 0,5 mg/l; NH₃ < 0,02 mg/l. Los peces fueron alimentados diariamente a saciedad con trozos de pescado (*Boops boops*).

Diseño experimental

Se realizaron un total de ocho experimentos cada uno con un peso y temperatura distintos para cubrir un amplio rango de estas variables (Tabla 1).

Tabla 1. Número de individuos por réplica (n), peso (P), temperatura (T) y consumo de oxígeno de rutina individual (COR) y específico (COER) en los experimentos realizados en *D. dentex*.

Exp.	n	P (g)	T (°C)	COR (mg O ₂ /h)	COER (mg O ₂ /kg/h)
1	4	251,17±11,00	28,09±0,68	51,48±2,63	204,98±10,47
2	3	656,38±11,06	26,79±0,54	93,92±11,29	143,09±17,21
3	4	255,10±16,15	24,14±0,48	59,67±4,55	233,93±17,83
4	3	350,77±10,69	20,94±0,51	50,99±4,98	145,37±14,22
5	3	601,67±19,76	19,80±0,42	68,68±4,71	114,16±7,83
6	4	117,42±37,35	17,20±0,53	15,01±3,21	127,85±27,36
7	3	745,09±25,99	15,70±0,56	70,61±5,21	94,76±6,99
8	6	117,11±2,45	13,99±0,69	11,16±1,13	95,28±9,64

Valores expresados como media ± desviación típica.

Los rangos de peso y temperatura empleados fueron de 117-746 g y de 13,9-28,1°C, respectivamente. En cada uno de los experimentos se emplearon tres lotes de peces de pesos similares e igual número de individuos (réplicas), alojados en tres acuarios de 180 l. Las réplicas de los diferentes experimentos estaban constituidas por un número de 3 a 6 individuos, según su tamaño.

En referencia a los acuarios, tres de sus laterales estaban tapados con placas de metacrilato opaco para evitar la influencia de estímulos externos sobre el comportamiento de los animales. Una vez adaptados a las nuevas condiciones y comprobar que se alimentaban adecuadamente (período que oscilaba entre una y dos semanas), se les sometió a un ayuno de 36 horas para eliminar los posibles efectos de la alimentación.

Posteriormente, se instaló el dispositivo experimental para registrar el consumo de oxígeno, obteniendo las medidas simultáneamente por triplicado. Los animales se pesaron al finalizar los experimentos.

Medida y determinación del consumo de oxígeno de rutina

Se determinó el consumo de oxígeno de rutina individual (COR) y específico (COER), este último en función de la biomasa. Ambos se calcularon por diferencia de la concentración de oxígeno en intervalos de 30 minutos, provocada por la propia actividad respiratoria de los peces, tras cortar el suministro de agua a los acuarios. Las fórmulas empleadas fueron las siguientes:

a) $COR = ([O_2]_{t1} - [O_2]_{t2}) \cdot V / (n \cdot t)$, donde:

COR es el consumo de oxígeno de rutina individual en mg O₂/h;

[O₂]_{t1} - [O₂]_{t2} = diferencia de concentraciones en mg O₂/l en el período de tiempo considerado;

V = volumen del acuario en l;

n = número de individuos;

t = tiempo del período considerado en horas.

b) $COER = (([O_2]_{t1} - [O_2]_{t2}) \cdot V) / (B \cdot t)$, donde:

COER es el consumo de oxígeno específico de rutina en mg O₂/Kg/h;

[O₂]_{t1} - [O₂]_{t2} = diferencia de concentraciones en mg O₂/l en el periodo considerado;

V = volumen del acuario en l;

B = biomasa en Kg;

t = tiempo del período considerado en horas.

El sistema de recogida de datos se instaló el día previo a la respirometría, con el fin de alterar lo menos posible a los peces el día del experimento. Este dispositivo estaba compuesto de un sensor de oxígeno y temperatura (Oxímetro Orion Modelo OxiCal 835) acoplado a una bomba de agua que aseguraba una corriente de agua en el sensor, y una correcta medida, además de facilitar la mezcla de agua en el tanque. Los oxímetros se conectaron a un ordenador que registraba los valores de oxígeno en mg O₂/l y se calibraron con agua saturada de aire.

En el interior de los acuarios se introdujo un filtro (500 l/h) que desempeñaba una función física (eliminar partículas sólidas en suspensión) y química (zeolitas incorporadas para eliminar los productos nitrogenados de desecho). Además, la superficie de los acuarios se cubrió con una lámina plástica flotante para evitar el intercambio de oxígeno entre el agua y el aire.

Las medidas se iniciaron a la mañana siguiente (9:00 am) después de cortar el suministro de agua a los acuarios y elevar la concentración de oxígeno al 120% mediante la inyección de oxígeno puro. La duración de las medidas osciló entre 5 y

14 horas, hasta que se alcanzaba el 45% de oxígeno. Por encima de este valor, *D. dentex* es capaz de regular su consumo de oxígeno (Cerezo, 2002) asegurando así que los valores obtenidos no estaban alterados por una baja concentración de oxígeno.

El porcentaje de saturación de oxígeno se obtuvo a partir de su solubilidad en función de la temperatura y la salinidad (Weiss, 1970). Por otra parte, se realizaron pruebas para obtener la transferencia de oxígeno a través de la lámina plástica de los acuarios en la situación más desfavorable (45% de oxígeno), así como la demanda biológica de oxígeno al 90% de oxígeno, en tanques control sin animales. Ambas fueron inferiores a 0,05 mg O₂/h, por lo que se despreciaron a la hora de realizar los cálculos.

Análisis de los datos

Inicialmente, se aplicó el test de Bartlett para comprobar si existían diferencias entre las varianzas de los pesos, o de las temperaturas, de los tres lotes que componían cada experimento. La ausencia de diferencias permitiría aplicar el ANOVA para comprobar si éstas existían entre las medias de estas variables. En caso negativo podríamos considerar estos tres lotes experimentales como réplicas. Para cada experimento se calculó la media (\bar{x}) y la desviación estándar (s) del COR y COER, así como de las variables peso (P) y temperatura (T), conjuntamente con todos los datos de las tres réplicas. Posteriormente, se obtuvo la influencia del peso y la temperatura sobre el COR y COER mediante el coeficiente de correlación parcial (CCP). Finalmente, los datos de COR se ajustaron mediante el análisis de regresión múltiple (ARM) a varios modelos utilizados en peces:

$$(1) \ln \text{COR} = \ln a + b \cdot \ln P + c \cdot T$$

$$(2) \ln \text{COR} = \ln a + b \cdot \ln P + c \cdot \ln T$$

$$(3) \ln \text{COR} = \ln a + b \cdot \ln P + c \cdot T + d \cdot T^2$$

$$(4) \ln \text{COR} = \ln a + b \cdot \ln P + c \cdot T + d \cdot T^2 + e \cdot T \cdot \ln P$$

Para cada uno de estos modelos se obtuvo: (1) la significación de la regresión mediante el ANOVA; (2) los coeficientes de las variables independientes y su significación mediante el test de la t-Student; (3) el grado de ajuste de los datos a cada uno de los modelos mediante el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}); (4) finalmente, el error estándar de la estimación (ESE). Todos los cálculos se realizaron con hoja de cálculo Excel y el paquete estadístico Statística (versión 5.0).

Resultados

El test de Bartlett no reveló diferencias significativas entre las varianzas del peso ni de la temperatura de los tres lotes que componían cada experimento ($p > 0,05$). El ANOVA tampoco las detectó en el peso ni en la temperatura media de estos lotes ($p > 0,05$), por lo que se consideraron como réplicas.

Los valores medios de COR y COER estuvieron comprendidos entre 11,16-93,92 mg O₂/h y 94,76-233,93 mg O₂/Kg/h, respectivamente (Tabla 1).

El COR se correlacionó positiva y significativamente con el peso (CCP = 0,97) y la temperatura (CCP = 0,93; $p < 0,01$), sin embargo, el COER sólo lo hizo con esta última (CCP = 0,85; $p < 0,05$; Tabla 2).

Tabla 2. Coeficientes de correlación parcial entre el consumo de oxígeno de rutina individual (COR) y específico (COER), y el peso y la temperatura en *D. dentex*.

Variable	Peso	Temperatura
COR	0,97(***)	0,93(**)
COER	-0,62 (ns)	0,85(*)

ns=no significativo ($p>0,05$); (*) $p<0,05$; (**) $p<0,01$; (***) $p<0,001$.

En la Tabla 3 se presentan los resultados del análisis de regresión múltiple para los modelos propuestos de consumo de oxígeno. Los valores de COR se ajustaron de forma significativa a todos los modelos propuestos ($p<0,01$), sin embargo, las ecuaciones 3 y 4 se pueden desechar puesto que los coeficientes de la temperatura no son significativos ($p>0,05$), cuando el efecto de esta variable sobre el metabolismo es obvio. Todos los coeficientes de las dos primeras ecuaciones son significativos ($p<0,05$), sin embargo, la ecuación 2 parece más adecuada por explicar un mayor porcentaje de la varianza y presentar un menor error en la estimación del COR.

Tabla 3. Resultados del análisis de regresión múltiple para ajustar los datos de consumo de oxígeno de rutina individual (COR) en función del peso y la temperatura en *D. dentex*.

	Ec. (1)	Ec. (2)	Ec. (3)	Ec. (4)
n	8	8	8	8
ln a±ES	-2,273±0,543 (**)	-4,675±0,772 (**)	-3,965±1,312 (*)	-6,560±1,890 (*)
b±ES	0,838±0,095 (***)	0,823±0,087 (***)	0,802±0,091 (***)	1,328±0,322 (*)
c±ES	0,058±0,013 (**)	1,233±0,252 (**)	0,247±0,135 (ns)	0,373±0,135 (ns)
d±ES			-0,004±0,003 (ns)	-0,003±0,002 (ns)
e±ES				-0,028±0,017 (ns)
R²Aj.	0,95	0,96	0,96	0,97
ESE	0,177	0,161	0,162	0,134
F	64,03	77,87	51,39	56,83
ANOVA	(***)	(***)	(***)	(***)

(1) $\ln \text{COR} = \ln a + b \cdot \ln P + c \cdot T$

(2) $\ln \text{COR} = \ln a + b \cdot \ln P + c \cdot \ln T$

(3) $\ln \text{COR} = \ln a + b \cdot \ln P + c \cdot T + d \cdot T^2$

(4) $\ln \text{COR} = \ln a + b \cdot \ln P + c \cdot T + d \cdot T^2 + e \cdot T \cdot \ln P$

ns=no significativo ($p>0,05$); (*) $p<0,05$; (**) $p<0,01$; (***) $p<0,001$

ES=Error estándar; ESE=Error estándar en la estimación del $\ln \text{COR}$

Discusión

El metabolismo de rutina es una medida de gran interés en piscicultura pues representa el gasto total de energía en peces que muestran su ámbito normal de actividad espontánea (Waller, 1992). En el presente trabajo se ha obtenido una ecuación que permite estimar el consumo de oxígeno de rutina en *D. dentex* para pesos corporales comprendidos entre 117 y 745 g, y temperaturas de 13,9 a 28,1°C:

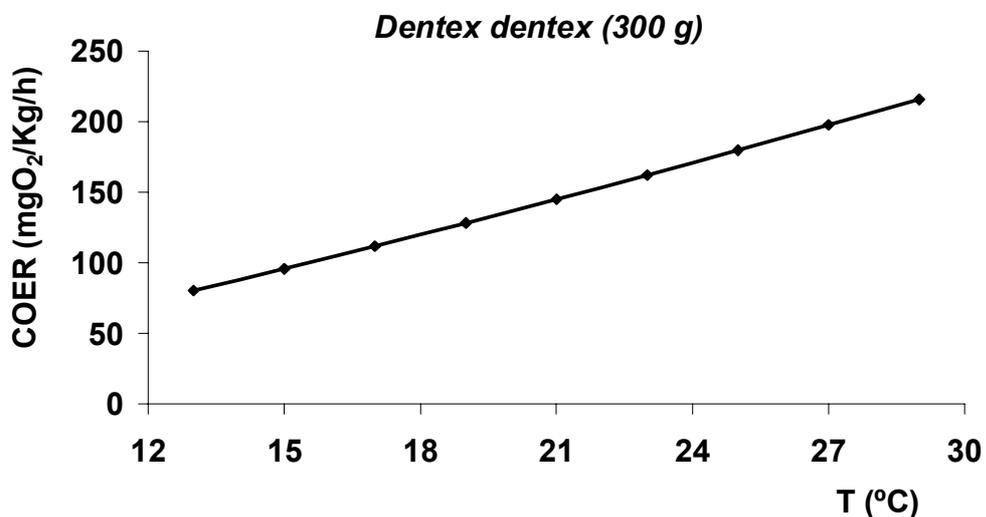
$$\ln \text{COR} = -4,675 + 0,823 \cdot \ln P + 1,233 \cdot \ln T \quad (R^2_{\text{aj.}} = 0,96; p<0,001)$$

En cuanto al valor del exponente del peso "b" en *D. dentex* fue de 0,82, que cae dentro del rango de 0,5-1,0 obtenido en la mayoría de especies de peces (Brett y Groves, 1979). Por lo tanto, como era de esperar, la relación entre el consumo de oxígeno y el peso es alométrica negativa indicando que 1 kg de un animal pequeño consume más oxígeno que uno de mayor tamaño. Por otro lado, en cuanto al efecto de la temperatura, la ecuación seleccionada predice un aumento del consumo de oxígeno siempre que lo hace la temperatura (Figura 1). De hecho, los coeficientes correspondientes al término cuadrático ($c \cdot T + d \cdot T^2$) de los modelos propuestos (3) y (4) no fueron significativos ($p > 0,05$), indicando que en el rango de temperatura considerado no existe un valor máximo y una bajada posterior en el consumo de oxígeno.

Por el contrario, Waller (1992) en *Scophthalmus maximus* y MacIsaac y cols. (1997) en *Pleuronectes ferrugineus* y *P. americanus*, sí observaron que el consumo de oxígeno aumenta hasta un valor máximo, para decaer posteriormente cuando se supera el rango de temperatura óptimo para la especie, por lo tanto, sus datos se podían ajustar a una ecuación parabólica.

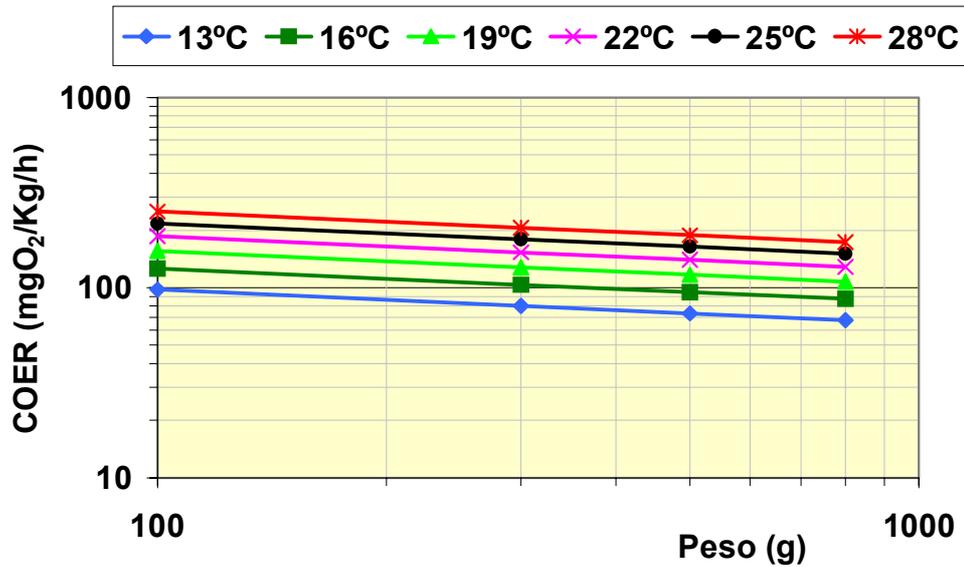
Probablemente, en *D. dentex* el posible descenso del consumo de oxígeno a elevadas temperaturas podría estar enmascarado por un efecto del estrés ambiental. Este efecto ha sido comprobado con anterioridad por Marais (1978) en *Liza richardsoni* entre 28 y 30°C, temperatura que provocaba un fuerte incremento en el consumo de oxígeno. Éste fue atribuido a los movimientos fortuitos del pez por encontrarse cerca de su temperatura letal.

Figura 1. Consumo de oxígeno específico de rutina (COER) en función de la temperatura para un ejemplar de 300 g de *D. dentex*. Los valores se han obtenido a partir del consumo de oxígeno de rutina individual (COR) de la ecuación 2 dividiendo por el peso del animal.



En la Figura 2 se representa el COER estimado para *D. dentex* dentro de los rangos de peso y temperatura estudiados. Así, un ejemplar de 300 g a 20°C consumirá unos 137 mg O₂/Kg/h. De ello podemos deducir que *D. dentex* consumirá más oxígeno y tendrá mayores requerimientos energéticos en situación de rutina respecto de otras especies de interés en acuicultura, como *Dicentrarchus labrax* o *Sparus aurata*, con valores respectivos de 113 mg O₂/Kg/h (Lemarie y cols, 1991) y 119 mg O₂/Kg/h (García García, 1994), en las mismas condiciones de peso y temperatura.

Figura 2. Consumo de oxígeno específico de rutina (COER) en función del peso y la temperatura en *D. dentex*. Los valores se han obtenido a partir del consumo de oxígeno de rutina individual (COR) de la ecuación 2 dividiendo por el peso del animal.



Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado por JACUMAR a través de los Planes Nacionales de Cultivos Marinos-1999.

Bibliografía

- Brett, J.R. y N.R. Glass. (1973). Metabolic rates and critical swimming speeds of Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) in relation to size and temperature. J. Fish. Res. Board Can., 30(3):379-387
- Brett, J.R. y T.D.D. Groves. (1979). Physiological energetics. En: Fish Physiology. VIII. W.S. Hoar y J.D. Randall. Academic Press, New York. 279-352
- Cerezo, J. (2002). Factores que afectan al consumo de oxígeno, concentraciones crítica y letal de oxígeno, y frecuencia de ventilación en el Sargo Picudo (*Diplodus puntazzo*), el Dentón Común (*Dentex dentex*) y el Pulpo de Roca (*Octopus vulgaris*). Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. 184 pp
- García García, B. (1994). Factores que influyen sobre el consumo de oxígeno, ingesta y crecimiento en la Dorada (*Sparus aurata* L.): una aproximación al establecimiento de modelos lineales. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. 231 pp
- Grottum, J.A. y T. Sigholt. (1998). A model for oxygen consumption of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) based on measurements of individual fish in a tunnel respirometer. Aquacult. Eng., 17:241-251
- Lemarie, G., E. Gasset, D. Cam y E. de La Fonchais. (1991). Modelisation de la consommation en oxygene du Loup (*Dicentrarchus labrax* L.) et de la Daurade (*Sparus aurata* L.). Ichthyophysiologica Acta., 15:55-68
- Liao, P.B. (1971). Water requirements of salmonids. Prog. Fish-Cult., 33(4) :210-215
- MacIsaac, P.F., G.P. Goff y D.J. Speare. (1997). Comparison of routine oxygen consumption rates of three species of pleuronectids at three temperatures. J. Appl. Ichthyol., 13:171-176
- Marais, J.F.K. (1978). Routine oxygen consumption of *Mugil cephalus*, *Liza dumerili* and *L. richardsoni* at different temperatures and salinities. Mar. Biol., 50:9-16

-
10. McLean, E., J.O.T. Jensen y A.D. Alderdice. (1993). Oxygen consumption rates and water flow requirements of Pacific Salmon (*Oncorhynchus* spp.) in the fish culture environment. *Aquaculture*, 109:281-313
 11. Muller-Feuga, A. (1978). The influence of temperature and weight on the oxygen demand of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri* R.) in fresh water. *Aquaculture*, 14:355-363
 12. Waller, U. (1992). Factors influencing routine oxygen consumption in Turbot, *Scophthalmus maximus*. *J. Appl. Ichthyol.*, 8:62-71
 13. Weiss, R.F. (1970). The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep Sea Research*, 17:721-735