

## Estimación de la capacidad de carga y determinación del área de estanque para el cultivo de peces

Jorge Cabrera Peña y Margarita Mora Jamett

Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Dirección actual: Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Heredia 3000. Costa Rica.

Rodolfo Vera N. y Durbelis Correa P.

Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago, Santiago, Chile.

(Recibido para su publicación el 17 de setiembre de 1982)

**Abstract:** A model was formulated to estimate the carrying capacity (animal weight/area) and area of ponds in intensive culture of freshwater fish, managed with artificial feed. The model is based on a non-stationary mass balance of oxygen in the water, depending on the following parameters: water flow, ratio of oxygen concentration in the affluent and effluent pond, oxygen consumption per unit of animal weight, pond volume and water temperature. It was applied to the culture of rainbow trout.

En el desarrollo de los cultivos artificiales de peces uno de los factores de mayor importancia es la determinación del número y tamaño de los estanques para obtener un mejor aprovechamiento de la infraestructura a proyectar en función de la producción deseada. En la actualidad, la determinación de la capacidad de carga (peso animal/unidad de área) y el área de un estanque, se realizan mediante métodos empíricos para cada caso en particular o bien se emplean técnicas como la propuesta por Haskell (1955) que se basa en el criterio de que la cantidad de peces a cultivar está relacionada directamente con la cantidad de alimento que el pez obtiene del medio y la cantidad de oxígeno disponible que pueda metabolizar. Willoughby (1968) planteó la determinación de la capacidad de carga considerando como factores la concentración de oxígeno que entra, la que sale, el volumen de agua del estanque y los gramos de oxígeno necesarios para metabolizar una libra de alimento. Westers (Solar, 1976), consideró que la capacidad de carga expresada en kg de alimento es proporcional al número de tasas de cambio de agua en el estanque a razón de 2 a 24 cambios por hora. Solar (1976) reformuló los trabajos anteriores y basa su formulación en el factor de eficiencia, volumen del estanque, tasas de cambio y la tabla de alimentación de Leitritz (1959). Leitritz y Lewis (1976) proponen que se determine la capacidad de car-

ga para los estanques de cada piscifactoría en particular considerando el registro de varios años sobre peso de los peces, conversión de alimentos, tipo de alimentos usados, incidencia de enfermedades y mortalidad, todos ellos relacionados con los factores básicos, como volumen de agua y temperatura que podrían influenciar en ésta.

El presente modelo pretende ofrecer una alternativa para determinar la capacidad de carga y área óptima de los estanques en situaciones donde las prácticas mencionadas no sean aplicables por carencia de registros y en la estructuración de proyectos piscícolas.

**Estimación de la capacidad de carga:** Si se posee un estanque rectangular cuya capacidad o volumen es  $V$  (1) constante, con un área superficial  $A$  ( $m^2$ ), con una profundidad útil  $H$  (m) y en él se desea cultivar trucha arco-iris u otra especie desde alevín hasta un peso individual  $P$  (g), para lo cual se dispone de agua con una concentración de oxígeno  $X_E$  (mg/l) y una temperatura  $T$  ( $^{\circ}C$ ) ¿qué producción podría alcanzarse en este estanque ( $kg/m^2$ )?

El flujo óptimo de entrada de agua  $F_E$  (l/hr) para la especie señalada, con base en el peso ( $P$ ) individual que se desea producir, puede establecerse de acuerdo con lo propuesto por Leitritz y Lewis (1976) y Liao (1971). El consumo de oxígeno para cada pez  $D$  (mg/l), se puede cal-

cular con base en la ecuación propuesta por Muller-Feuga *et al.*, (1978):  $D = \alpha P^\beta \cdot 10^{\gamma T}$ , donde  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , son constantes dependientes de la temperatura (Cuadro 1), o bien con la ecuación propuesta por Mohan Rao (1971):  $\log D = a \log W + b$ , donde  $a$  y  $b$  son constantes dependientes de la actividad del pez y de la temperatura (Cuadro 2) y  $W$  es el peso animal en mg.

CUADRO 1

*Análisis y uso del modelo*

	Capacidad de Carga promedio	Area óptima promedio útil	Error STD
Modelo para 6 tanques rectangulares	$10 \pm 0,5 \text{ kg/m}^2$	$179 \pm 8,95$	1,374
Piscifactoria. Datos INTA para los 6 estanques rectangulares	$10 \text{ kg/m}^2$	$180 \text{ m}^2 \text{ c/u}$	2,928

CUADRO 2

*Parámetros utilizados en el cálculo de consumo de oxígeno de Salmo gairdneri según Muller-Feuga et al., 1978*

Parámetro	$4^\circ\text{C} \leq T \leq 10^\circ\text{C}$	$12^\circ\text{C} \leq T \leq 22^\circ\text{C}$
$\alpha$	75,00	249,00
$\gamma$	-0,196	-0,142
$\beta$	0,055	0,024

Con los antecedentes anteriores calculamos el oxígeno consumido por los peces,

$$M = X_E - F \frac{X_{SO} - (X_E / e)}{1 - (1/e)} \text{ (mg/hr)}$$

donde  $X_E$  = concentración de oxígeno del agua que entra;

$X_{SO}$  = concentración mínima de oxígeno para que sobreviva la especie;

$F_E$  = flujo de entrada de agua;

donde  $X_{SO}$  puede ser obtenido bibliográficamente con base en lo propuesto por Beamish y Dickie (1967) y Rubín (1976).

Con el resultado de  $M$  (mg/hr), se puede calcular el número de peces  $N$ , para lo cual ha de considerarse el valor obtenido para  $D$ :

$$N = M / D$$

Una vez conocido el número de peces, se calcula la capacidad de carga (CC) con la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{N \cdot P \text{ (g)}}{A \text{ (m}^2\text{)}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

donde:

$P$  = Peso unitario (g)

$A$  = Area superficial del estanque ( $\text{m}^2$ )

**Area óptima de un estanque:** el problema a plantearse es inverso al anterior, es decir, se desea producir  $T$  (kg) de trucha arco-iris de un peso individual  $P$ (g), entonces cabe preguntarse ¿cuál será el área óptima del estanque de cultivo?

El primer paso a seguir es calcular el número de peces  $N$ :

$$N = \frac{T \text{ (kg)}}{P \text{ (g)}} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

luego conociendo el número de peces, se calcula el valor  $M$  (mg/hr) a partir de la ecuación:

$$M = N \cdot D \text{ (mg/hr)}$$

a continuación se calcula el flujo óptimo  $F$  (1) a utilizar, basándose en una reordenación de la ecuación usada para calcular el consumo de oxígeno de los peces.

$$F = \frac{(X_E - M) (1 - (1 - [1/e]))}{X_{SO} - (X_E / e)}$$

generalmente el valor obtenido para  $F$  es negativo y equivale al flujo de salida, por lo cual debemos recordar que  $F_E = F_S$  para mantener el volumen del estanque constante por tanto el signo negativo no se considera.

Una vez conocido el flujo ( $F$ ) y considerando la tasa de cambio (TC) se determina el volumen del estanque.

$$V = TC \cdot F \text{ (m}^3\text{)}$$

donde TC equivale el número de veces que se cambia el volumen de agua de un estanque por unidad de tiempo (hr) y generalmente se usa de 0,5 a 1 TC por hora (Solar, 1976).

Finalmente conociendo el volumen, se calcula el área con base en:

$$A = V/H$$

siendo H, la profundidad útil y equivale a 1-1,2 m (Leitritz y Lewis, 1976).

Para corroborar el uso de ambos planteamientos el modelo fue empleado en una Piscicultura Experimental de salmonideos ubicada en el Arrayán, Las Condes, al Noreste de Santiago, Chile, de propiedad del Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos, obteniéndose los siguientes resultados.

Para comprobar la validez del modelo se aplicó la prueba T Student, dando un  $t = 2.3981$  con un  $p \leq 0.05$ .

CUADRO 3

*Parámetros utilizados en el cálculo del consumo de oxígeno en Salmo gairdneri según Mohan Rao, 1971*

Actividad (cm/seg)	Temperatura del agua 5 °C		Temperatura del agua 15 °C	
	a	b	a	b
0	0,6977	-0,6652	0,7143	-0,3786
18,5	0,7692	-0,5307	0,7895	-0,3606
45,1	0,8108	-0,3808	0,8571	-0,2971
52,7	0,8333	-0,2838	0,8824	-0,0913
Máxima	1,0714	-0,5500	0,9677	-0,1677

## DISCUSION

La mayoría de los parámetros que considera el presente modelo han sido utilizados en forma separada por diferentes autores (Haskell, 1955; Willoughby, 1968, Westers [citado por Solar, 1976]; Leitritz, 1959; y Solar, 1976) para el cálculo de la capacidad de carga y área de los estanques. El modelo planteado permite la aplicación combinada de estos parámetros para cualquier situación y especie.

Es así que el modelo plantea primeramente la necesidad de obtener información sobre datos experimentales tanto del área como del recurso hídrico a utilizar en piscicultura y en caso de no existir información, estimarlos por simples promedios de datos obtenidos mediante análisis físico-químicos y luego compararlos con los datos bibliográficos de la literatura especializada y aplicar las consiguientes variantes que permitan ciertos márgenes de seguridad en su aplicación.

La mínima concentración de oxígeno  $X_{SO}$  para la sobrevivencia de un pez en cultivo y el

consumo de éste D ha sido estudiado para la mayoría de las especies actualmente sometidas a cultivo en diferentes condiciones de salinidad, temperatura, tipos de alimentos, diferentes pesos, etapas de desarrollo y otros parámetros, es así que: Job (1955), Brett (1964; 1965), Mohan Rao, (1968; 1971), Coche, (1967), Elliott (1969), Liao, (1971), y Muller-Feuga *et al.* (1978) lo han realizado en Salmonideos; Kenamer (1971) en Bagres; Sweet y Kinne (1964), Beamish y Mookerjii (1964) y Smit (1965) en Ciprinidos; Job, (1969), Farmer y Beamish (1969) en Tilapias; Heusner *et al.* (1963), y Beamish (1964), en diferentes especies de peces teleosteos.

Los flujos (F) óptimos recomendados para el cultivo de diferentes especies de peces pueden encontrarse en Huet (1960), Leitritz (1959), Bardach (1972) y Rubín (1976).

Uno de los aspectos que no fue considerado en el modelo, pero cuya incidencia es ínfima en el balance de masa al oxígeno, correspondió al oxígeno consumido por la descomposición del alimento en el fondo del estanque y el producto de la evotranspiración.

El modelo presente fue utilizado en la reformulación de un proyecto de Salmonideos que se realizaba en la piscifactoría El Arrayán, localizada en las Condes al Noreste de Santiago, Chile, obteniéndose un  $t = 2,3981$  con un  $p \leq 0,05$  en relación con los datos del Instituto de Nutrición de los Alimentos de la Universidad de Chile.

## RESUMEN

Se formula un modelo para calcular la capacidad de carga (peso/área) y área de estanques, en cultivo intensivo de peces de aguas continentales alimentados artificialmente, el que fue aplicado en cultivo de trucha arco-iris.

El modelo se basa en un equilibrio no estacionario del oxígeno del agua, y depende de los siguientes parámetros: flujo de agua (L/hr), concentración de oxígeno en el afluente y efluente del estanque, consumo de oxígeno por unidad de peso animal, volumen del estanque y temperatura del agua.

## REFERENCIAS

- Bardach, J.E., 1972. Aquaculture; the farming and husbandry of freshwater and marine organisms. Wiley-Interscience. New York.

- Beamish, F.W. 1964. Respiration of fishes with special reference to standard oxygen consumption. II. Influence of weight and temperature on respiration of several species. *Can. J. Zool.*, 42: 177-188.
- Beamish, F. W., & L. M. Dickie, Metabolism and biological production in fish, p. 215-242. *In* S.D. Gerking (ed.). The biological basis of freshwater fish production. Blackwell, Oxford.
- Beamish, F.W., & P.S. Mookherjii. 1964. Respiration of fishes with special emphasis on standard oxygen consumption. I. Influence of weight and temperature on respiration of the goldfish, *Carassius auratus*. *Can. J. Zool.*, 42: 161-176.
- Brett, J.R. 1964. On respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 21: 1183-1226.
- Brett, J.R., 1965. The relation of size to rate of oxygen consumption and sustained swimming speed of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 22: 1491-1501.
- Coche, A.G., 1967. Oxygen consumption as related to body size in juvenile steelhead, *Salmo gairdnerii* (Richardson), *Hydrobiologia*, 29: 165-184.
- Elliot, J.W. 1969. The oxygen requirements of Chinook salmon. *Prog. Fish Cult.*, 31: 67-73.
- Farmer, G.J., & F.W. Beamish, 1969. Oxygen consumption of *Tilapia nilotica* in relation to swimming speed and salinity. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 26: 2807-2821.
- Haskell, D.C. 1955. Weight of fish per cubic foot of water in hatchery troughs and ponds. *Prog. Fish. Cult.*, 17: 117-118.
- Heusner, A., C. Ckayser, C. Marx, T. Stussi, & M. Harmelein. 1963. Relation entre le poids et la consommation d'oxygène II. Etude intraspecificque chez le poisson. *C. r. Séanc. Soc. Biol.*, 157: 1-64.
- Huet, M., 1960. *Traité de Pisciculture*. Ch. de Wyn-gaert. France. 361 p.
- Job, S.A. 1955. The oxygen consumption of *Salvelinus fontinalis*. *Publ. Ont. Fish. Res. Lab.*, 73: 1-39.
- Job, S.V. 1969. The respiratory metabolism of *Tilapia mossambica* (Teleostei). I. The effect of size, temperature and salinity. *Mar. Biol.*, 2: 121-126.
- Kenamer, E.F. 1971. Catfish for find and cash. Circular E-15. Ext. Serv. Auburn Univ. Auburn, Alabama, USA. 35p.
- Liao, P.B. 1971. Water requirements of Salmonids. *Prog. Fish Cult.*, 33: 210-215.
- Leitritz, E., 1959. Trout and Salmon Culture (Hatchery Methods). *Calif. Dept. Fish and Game Fish Bull.*, (107) 169p.
- Leitritz, E., & R.C. Lewis, 1976. Trout and Salmon culture (Hatchery Methods). *Calif. Dept. Fish and Game, Fish Bull.*, (164) 197 p.
- Mohan Rao, G.M. 1968. Oxygen consumption of rainbow trout *Salmo gairdnerii* in relation to activity and salinity. *Can. J. Zool.*, 46: 781-786.
- Mohan Rao, G.M. 1971. Influence of activity and salinity on the weight dependent oxygen consumption of the rainbow trout *Salmo gairdnerii*. *Mar. Biol.*, 8: 205-212.
- Muller-Feuga, A., J. Petit, & J. Sabaut. 1978. The influence of temperature and wet weight on the oxygen demand of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.) in freshwater. *Aquaculture*, 14: 355-363.
- Rubín, R. 1976. La Piscifactoría. C.E.C.S.A., México.
- Smit, H. 1965. Some experiments on the oxygen consumption of goldfish *Carassius auratus* L. in relation to swimming speed. *Can. J. Zool.*, 43: 623-633.
- Solar, I. 1976. Cálculos de capacidad de carga en lagunas de crianza de salmonideos, *Biología Pesquera*, Ministerio de Agricultura, Chile, 8: 70-103.
- Sweet, J., & O. Kinne. 1964. The effects of various temperature-salinity combinations on the body form of newly hatched *Cyprinodon macularis* (Teleostei). *Helgolander wiss. Meeresunters.*, 2: 49-69.
- Willoughby, H. 1968. A method for calculating carrying capacities of hatchery troughs and ponds. *Prog. Fish Cult.*, 30: 173-174.