

## **Análisis financiero de una producción piloto del rotífero, *Brachionus rotundiformis*, con una dieta artificial**

Luis Alvarez-Lajonchère<sup>1</sup> , Juan Luis Sánchez-Téllez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Unidad Mazatlán, Avenida Sábalo Cerritos S/N, Mazatlán, Sinaloa, Código Postal 82010, Apartado Postal 711, México.

### **RESUMEN**

Se realizó un estudio piloto de cultivo intensivo por lotes en ciclos de cuatro días de rotíferos pequeños, *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff, 1921, para la alimentación de peces marinos, basado en el uso de Culture Selco Plus® como alimento y oxígeno puro. Se aplicaron los mejores tratamientos de experimentos previos con oxígeno puro, flujo de agua abierto, uso de fibra sintética para la colecta de materia orgánica y el empleo de bombas dosificadoras para el suministro continuo del alimento. Con una densidad inicial de 252±21 rotíferos/ml se logró una densidad media de 1 595±53 rotíferos/ml a la cosecha, sin diferencias significativas entre las repeticiones (ANDEVA, P > 0,05). Los parámetros ambientales se mantuvieron estables e intervalos aceptables, con tasa de crecimiento de 0,36±0,05, fecundidad ≥ 0,3 y porcentajes de hembras con huevos mayores de 25 % al cuarto día. El análisis financiero mostró bajos gastos operacionales y los fundamentales fueron los de depreciación (49 %), suministros (42 %) y fuerza laboral (7 %), con un costo general sin incluir los gastos de empaque y del impuesto sobre las ventas, de \$0,13/millón de rotíferos producidos para su utilización en la propia instalación. El punto de equilibrio en que se compensan los gastos y el valor de las posibles ventas, fue de 230 millones de rotíferos y el precio de compensación fue de \$0,15. Estos resultados se comparan con los de otros reportes.

*Palabras clave:* *Brachionus rotundiformis*, costos operacionales, cultivo por lotes, rotíferos.

### **ABSTRACT**

An intensive 4-day batch culture study of small rotifers, *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff, 1921, to feed marine fish larvae was carried out, with Culture Selco Plus® as feed and pure oxygen. Best previous experimental treatments were applied, with pure oxygen, open flow, synthetic fiber for organic matter collection, metering pumps for feed supply and. With a stocking density of 252±21 rotifers/ml, a mean density of 1 595±53 rotifers/ml was reached at harvest, without significant differences between consecutive cycles. Environmental parameters were stable in acceptable intervals, with growth rate of 0.36±0.05, ≥ 0.3 fecundity, and ≥ 25 % of females with eggs. Financial study show low operational expenses, mostly depreciation (49 %), supplies (42 %) and labor costs (7 %). General operational cost, without packing expenses and income tax, was \$0.13/million rotifers produced. Break-even point and break-even price were 230 million and \$0.15 per million rotifers, respectively. These results are compared with other reports.

*Key words:* *Brachionus rotundiformis*, operational costs, batch culture, rotifers.

### **INTRODUCCIÓN**

La producción del alimento vivo constituye uno de los factores más importantes para la producción de juveniles de peces marinos (Alvarez-Lajonchère y Hernández Molejón, 2001). Los rotíferos constituyen el primer alimento en la cría de larvas de peces marinos y por tanto es esencial que se dominen tecnologías de producción masiva seguras y estables (Fukusho, 1989; Candreva *et al.*, 1996; Dhert *et al.*, 2001; Lubzens y Zmora, 2003) para la alimentación de las larvas de peces marinos en sus primeras etapas de vida. Para las larvas de especies tropicales usualmente se utiliza el rotífero pequeño “tipo S”, *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff,

1921 (Su *et al.*, 1994; Leu *et al.*, 2003; Schipp *et al.*, 2007).

En el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Mazatlán, México, se ha trabajado en la adaptación de tecnologías de producción de rotíferos (Guzmán Navarrete, 2005); sin embargo, para alcanzar los rendimientos requeridos por las capacidades piloto de la nueva planta (Alvarez-Lajonchère *et al.*, 2007), se requirió trabajar con técnicas intensivas. El objetivo del presente trabajo es presentar los resultados alcanzados en pruebas piloto con los mejores tratamientos experimentales realizados anteriormente (Sánchez-Téllez y Alvarez-

Lajonchère, inédito) con un sistema de cultivo intensivo por lotes en ciclos cortos de cuatro días y uso de oxígeno puro.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un experimento piloto de cultivo de rotíferos en las instalaciones de la planta del CIAD. En el presente estudio se empleó la cepa del rotífero tipo S, *Brachionus rotundiformis* con una lórica media de  $180 \pm 50 \mu\text{m}$  mantenida en dicho laboratorio (Velasco-Blanco *et al.*, 2012). En aras de mantener el reporte en consonancia con el consenso actual se mantuvo el nombre de *Brachionus rotundiformis* a pesar de que la cepa utilizada puede pertenecer correctamente a la especie *B. ibericus*, de acuerdo al reporte de Hagiwara *et al.* (2007).

Los suministros de agua salada, agua dulce y aire fueron los de la propia planta (Alvarez-Lajonchère *et al.*, 2007). El suministro de oxígeno puro fue del circuito de dos tanques dewar de  $130 \text{ m}^3$ . En todos los experimentos se utilizó agua salobre de 25 ‰, preparada previamente.

El oxígeno puro y el aire fueron suministrados por líneas de mangueras flexibles de PVC transparentes de 5 mm de diámetro con difusores en el extremo, suspendidos a unos 20 cm del fondo de los tanques y regulados por medidores de flujo específicos.

Los inóculos de rotíferos fueron producidos en cultivos por lotes y por etapas de cuatro días, alimentados con la microalga *Nannochloropsis oculata* (Droop) Hibberd, 1981 ( $30 \times 10^6$  células/ml), a partir de tubos de ensayo de 50 ml hasta tanques de columna translúcidas de fibra de vidrio y acrílico de 80 L y 700 L en el interior del laboratorio de alimento vivo, con agua de mar tratada y aireación continua hasta alcanzar una densidad de 250 rotíferos/ml. Posteriormente se introdujeron en los tanques de producción y ese día se suministró vitamina B-12 (0,002 mg/ml) para aumentar la fecundidad.

La concentración de oxígeno disuelto y la temperatura fueron medidos con un medidor de oxígeno portátil YSI® 550AT2. La salinidad se midió con un refractómetro SR6. El pH y el  $\text{NH}_3$  se cuantificaron con un medidor de iones PLUSDIRECT Meter (La Motte) con sus respectivos electrodos. Los parámetros de calidad de agua se midieron en las mañanas.

Se realizaron diversas observaciones y se calcularon diversos índices para evaluar el estado de los cultivos: a) densidad de rotíferos, basada en un conteo diario de rotíferos vivos a base de una muestra integrada de cinco alícuotas de 100 ml por tanque, de las cuales se tomaron tres sub-muestras de 1 ml con una pipeta despuntada y se contaron en una cámara Sedgwick Rafter con tres gotas de

solución Lugol, excepto los de lórica vacía y transparente (muertos), bajo un microscopio compuesto Olympus CX31; b) tasa de reproducción de los rotíferos (porcentaje de rotíferos con huevos 24 h después de la siembra inicial); c) índice de fecundidad de los rotíferos (número de huevos promedio por hembra); d) tasa de crecimiento específica de la población:

$$K = [\text{Ln}(\text{Nt}) - \text{Ln}(\text{No})] / t$$

Donde:

K = tasa de crecimiento específico

Nt = concentración del cultivo (número de rotíferos/ml)

No = concentración inicial (número de rotíferos/ml)

t = tiempo en días del cultivo (días)

Los cultivos se realizaron en cuatro tanques cilindro-cónicos de fibra de vidrio blanco mate de  $1,2 \text{ m}^3$  con 1 000 L de agua salobre a 25 ‰ y temperatura ambiente y fueron repetidos tres veces. Cada tanque tuvo un suministro de oxígeno puro a razón de 0,3 l/min por difusor (cinco por tanque de 1 000 L), aire a razón de 15 l/min por medio de dos difusores por tanque y una línea de alimentación para suministrar la cantidad del alimento recomendada por el fabricante.

Para atrapar y eliminar flóculos de materia orgánica en suspensión se utilizaron dos bandas de 72,5 x 9,3 cm de fibra sintética Scotch Brite™ (Super Lustre S.A. de C.V., México, D.F) por tanque, colgadas en la columna de agua, que fueron cambiadas y desinfectadas diariamente. Dos veces por día se purgó cada tanque para descargar los desechos sedimentados de la alimentación.

La densidad de siembra de los rotíferos fue de aproximadamente 250 rotíferos/ml. La alimentación se basó en el alimento artificial Culture Selco Plus® (INVE Aquaculture Inc.). El último día de cada experimento se realizó una cosecha total por el método recomendado por Dehasque *et al.* (1997), se cuantificaron, se enriquecieron con Protein Selco® ( $300 \text{ g/m}^3$ ) y posteriormente se utilizaron para la alimentación de larvas del pargo flamenco, *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869).

Con los resultados de la prueba piloto se realizó un análisis financiero basado en la comparación entre los costos operacionales para una operación con la cosecha de un tanque de 1 000 L con los resultados obtenidos y dos precios de referencias se estimó un precio de \$1,00 por millón de rotíferos. Uno de los precios de referencia fue de \$20,00 por millón de rotíferos (\$2 000/100 millones) de la firma Aquatic Eco-system Inc., de Florida, EE.UU. (Aquatic Eco-system Inc., 2012) y el otro de \$6,30/millón de la firma Reed Mariculture<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Rotifers [http://www.reedmariculture.com/product\\_instant\\_zooplankton.html](http://www.reedmariculture.com/product_instant_zooplankton.html)

El análisis económico incluyó los costos de inversión de los sistemas fundamentales para la producción de rotíferos. Todos los cálculos se realizaron en dólares de los EE.UU. (\$, USD) con una tasa de cambio oficial de \$13,18 pesos mexicanos (MXN) por dólar de los EE.UU. Se tomaron en cuenta los porcentajes del agua salada, agua dulce y aire relacionados con la producción de los rotíferos (Tabla 1).

Entre los gastos variables se diferenciaron los suministros correspondientes a los materiales para el empaque, los alimentos y enriquecedores, oxígeno puro y otros suministros. La fuerza de trabajo necesaria se estimó en un técnico de nivel medio graduado de un tecnológico, a tiempo completo con un salario mensual de \$167,20 y un supervisor a tiempo parcial (25 %) con un salario mensual de \$342.

En los gastos de energía se consideró el consumo eléctrico de la bomba de agua de mar, el soplador, las bombas dosificadoras y la iluminación. Para el costo de la electricidad en el bombeo se tomó el estimado realizado por Ibarra *et al.* (inédito) de \$0,77/h para toda la planta. Para estimar el consumo de electricidad se utilizó la tasa intermedia del nivel de consumo de la Comisión Federal de Electricidad de México (CFE), \$0,0554 por kW-h y posteriormente se aplicó el descuento del 50 % que la CFE considera para las actividades de acuicultura, para finalmente agregar el 15 % del impuesto al valor agregado (IVA). El cálculo del consumo eléctrico para la producción de aire de la planta se basó en el uso del consumo nominal del soplador utilizado (7,46 kW-h) con el 90 % de la eficiencia del motor, combinada con los 500 m<sup>3</sup>/h a 25 kPa, con las correspondientes conversiones de todos los flujos de aire utilizados a la presión de salida del soplador. Posteriormente se aplicaron los mismos cálculos del costo de la electricidad consumida explicados para el bombeo. Adicionalmente se consideraron los otros consumos de electricidad de las lámparas fluorescentes para la producción de los inóculos (microalgas y rotíferos) (estantes luminosos y tableros) y para la producción de los rotíferos, así como el consumo de la bomba sumergible para el movimiento de los inóculos y las bombas dosificadoras de diafragma para la alimentación de los rotíferos.

Se calculó el punto de equilibrio, en el cual los ingresos y costos se igualan y por tanto la ganancia es cero, *break-even point*, como el costo fijo total / (precio unitario / costo variable unitario) y el precio al cual no habría ni pérdidas ni ganancias, *break-even price*, como el costo fijo unitario más el costo variable unitario (Shang, 1990).

Se realizó un análisis de sensibilidad con incrementos del 25 % en los costos de la fuerza laboral, empaque y suministros varios, así como una posible reducción del rendimiento del 25 % en los cultivos y una disminución del 25 % en el precio de venta.

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SigmaStat 3.5 para Windows (SYSTAT Software, Inc., Point Richmond, CA, EE.UU.). Los resultados se presentan con sus valores medios  $\pm$  la desviación estándar de la media para cada una de las variables determinadas. La homogeneidad de las varianzas y distribución normal de los datos fueron analizados siguiendo los procedimientos estadísticos del paquete. Los datos que cumplieron las pruebas paramétricas se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía. A los porcentajes se les aplicó una transformación de arco-seno antes de su análisis.

## RESULTADOS

En el experimento, el comportamiento de las réplicas fue similar en cada uno de los tratamientos con un intervalo del coeficiente de variación máximo de 5 a 7 % y las variaciones entre las repeticiones no fueron significativas (ANOVA,  $P > 0,05$ ).

Los parámetros de calidad del agua fueron estables. La temperatura ambiente tuvo máximas de 24,5 $\pm$ 5 y mínimas de 21,5 $\pm$ 5, mientras que la Salinidad fue de 25 $\pm$ 3 ‰. Los niveles de oxígeno disuelto se mantuvieron en 11,25 $\pm$ 1,85 mg/l. El pH tuvo poca variación (8,12 $\pm$ 0,18) y el NH<sub>3</sub> presentó un incremento gradual hasta alcanzar 0,09 mg/L el cuarto día, sin que se detectaran diferencias significativas entre las repeticiones (ANDEVA,  $P > 0,05$ ).

A partir de una siembra inicial de 252 $\pm$ 21 rotíferos/ml, al cuarto día se obtuvo una densidad de 1 595 $\pm$ 53 rotíferos/ml, sin diferencias significativas entre las repeticiones (ANDEVA,  $P > 0,05$ ). La tasa de crecimiento fue de 0,36 $\pm$ 0,05 en el cuarto día. La fecundidad osciló de 0,8 el primer día hasta 0,3 el cuarto día, con 45 % de hembras con huevos el primer día hasta el 27 % el cuarto día, sin presentar variaciones significativas entre las repeticiones (ANDEVA,  $P > 0,05$ ).

En el análisis de factibilidad financiera de la producción de 1 500 rotíferos diarios en cuatro tanques de 1 000 L de capacidad, se consideraron los costos fijos y los variables, así como el impuesto sobre las posibles ganancias. En los gastos fijos se consideró fundamentalmente la depreciación por año de instalaciones y equipos utilizados para la producción de los rotíferos, con los ajustes necesarios respecto a la vida útil estimada y el porcentaje correspondiente de utilización en la producción de los rotíferos. La mayor parte de los gastos fijos fueron los correspondientes a la depreciación anual de las instalaciones (63,9 %) (Tabla 2). Para la producción de rotíferos se utilizó el 0,3 % del agua salada total de la planta (113 m<sup>3</sup>/h), 3,3 % de los 60 m<sup>3</sup>/día de agua dulce y 4,8 % del aire por día del total de 500 m<sup>3</sup>/h a 25 kPa por día que produce la planta. El valor de la inversión de las

Tabla 1. Inversión de capital estimada en (\$, USD) para la producción de rotíferos, *Brachionus rotundiformis*, en la planta piloto del CIAD, Mazatlán, México.

Sistema/local/equipamiento	No. de unidades	Costo total	Vida útil (años)	Costo anual	Uso para rotíferos (%)	Costo de la utilización
Sistema de toma de agua de mar	1	107 084	20	5 354	0,3	16
Local de tratamientos del agua	1	456	20	46	0,3	0,1
Local de sopladores	1	228	20	23	4,8	1
Bomba de agua	1	3 929	10	393	0,3	1
Soplador	1	2 333	10	233	4,8	11
Tanques de sedimentación agua salada	4	21 400	20	1 070	0,3	3
Tanques de sedimentación agua dulce	2	10 700	20	535	3,3	18
Equipamiento de tratamiento del agua salada	varios	7 700	10	770	0,3	2
Equipamiento de tratamiento del agua dulce	varios	3 300	10	330	3,3	17
Autoclave	2	3 000	10	300	15	45
Bomba de agua sumergible	1	1 000	5	200	15	30
Acondicionador de aire doméstico	1	500	5	100	15	15
Acondicionador de aire comercial	1	2 000	10	200	15	30
Destilador de agua	1	1 000	5	200	15	30
Local de siembra (5 m <sup>2</sup> )	1	7 500	20	375	15	56
Local de inóculos menores (17 m <sup>2</sup> )	1	25 500	20	1 275	15	191
Local de inóculos de 87 ly 700 l (70 m <sup>2</sup> )	1	105 000	20	5 250	15	788
Local de zooplancton (28,5 m <sup>2</sup> )	1	34 200	10	3 420	50	1 710
Estantes luminosos (20 tubos fluorescentes)	2	3 300	10	330	100	330
Tableros luminosos (18 tubos fluorescentes)	4	1 500	5	300	25	75
Tanques translúcidos de 87 l	12	1 200	5	240	25	60
Tanques translúcidos de 700 l	12	4 200	5	840	25	210
Tanques de fibra de vidrio de 1,2 m <sup>3</sup> para producción de rotíferos	4	800	10	80	100	80
Equipamiento de laboratorio	varios	5 100	5	1 020	15	153
Bomba peristáltica	4	1 200	5	240	100	240
Depreciación total anual		354 130	--	23 124	--	4 112

instalaciones y equipamiento de la planta piloto que intervienen en la producción de los rotíferos alcanzó \$354 130, con una depreciación anual de \$23 124 de acuerdo al porcentaje de utilización (Tabla 1).

Los gastos variables y los fijos fueron bajos, de \$2 953 y \$4 112 respectivamente (Tabla 2). Los gastos operacionales totales sin considerar los gastos de empaque fueron \$5 812. Entre los gastos operacionales (Figura 1), los fundamentales fueron los de depreciación (49 %), suministros (42 %) y fuerza laboral (7 %), mientras que los gastos de los alimentos artificiales, los gastos energéticos y los de suministro de oxígeno, fueron menos importantes (Tabla 2).

El costo total, con la inclusión del impuesto del 17 % sobre las ganancias aplicado en México, fue estimado en \$13 694, que es el necesario para una producción de aproximadamente 200 000 juveniles del pago flamenco por ciclo.

En el análisis se incluyeron los gastos de enriquecimiento de los rotíferos con Protein Selco Plus® y el empaque a una densidad de 5 000 rotíferos/ml, en bolsas de polietileno dobles de 30 L, con un volumen de 10 l de agua a 20 ‰ (1/3 del volumen), oxígeno puro (2/3 del volumen), ClorAm-X® y bolsas refrigeradas en una caja con aislamiento térmico sellada. El costo total estimado fue de \$0,30 por cada millón de rotíferos empacados y

Tabla 2. Gastos fijos, gastos variables y ganancias (USD) por la producción mensual de rotíferos, *Brachionus rotundiformis*, en 2008 con la cosecha diaria de un tanque de 1 000 L de la planta piloto del CIAD, en Mazatlán, México.

<b>Rubros y conceptos</b>	<b>Cantidades</b>
Producción total estimada en un mes (millones de rotíferos) <sup>a</sup>	45 000 x 10 <sup>6</sup>
Ganancia bruta de la producción mensual <sup>b</sup>	45 000
Gastos operacionales variables	
• Fuerza laboral	593
• Energía (Electricidad)	46
• Alimento (Culture Selco Plus®) y enriquecimiento (Protein Selco Plus®)	483
• Suministro de O <sub>2</sub> puro	36
• Materiales de empaque	1 470
• Otros suministros	325
Gastos variables totales	2 953
Gastos fijos	
• Depreciación de equipos	1 350
• Depreciación de instalaciones	<u>2 762</u>
Gastos fijos totales	4 112
Contingencia <sup>c</sup>	148
Gastos operacionales totales	<u>7 282</u>
Ganancia neta antes del impuesto	37 718
Impuesto sobre la ganancia <sup>d</sup>	<u>6 412</u>
Total de gastos incluyendo el impuesto sobre la ganancia	13 694
Ganancia neta después del impuesto sobre la ganancia	31 306
Gastos por millón de rotíferos antes del empaque y del impuesto sobre la ganancia	0,13
Gastos por cada millón de rotíferos después del impuesto sobre la ganancia	0,30
Ganancia neta por cada millón de rotíferos empacados	0,70
Punto de compensación de los gastos (millones de rotíferos)	230
Precio por millón de rotíferos para la compensación de gastos	0,15

(<sup>a</sup>) A razón de 1 500 rotíferos por ml.

(<sup>b</sup>) USD \$1,00/millón de rotíferos.

(<sup>c</sup>) 5 % de los gastos variables.

(<sup>d</sup>) 17 % de la ganancia bruta

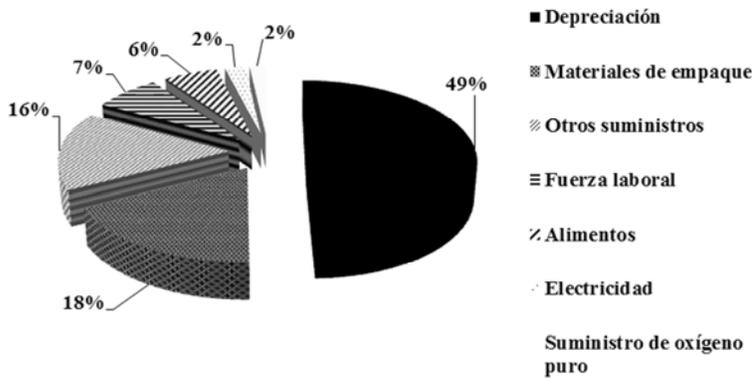


Figura 1. Composición de los principales gastos operacionales en la producción piloto en 2008 de  $1,6 \times 10^9$  rotíferos (*Brachionus rotundiformis*) diarios por un sistema de cultivo por lotes en la planta piloto del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Mazatán, México.

de \$0,13 por millón de rotíferos producidos para el uso de la propia planta (Tabla 2).

El costo de la producción en que los gastos quedan cubiertos con las ventas y en la que no hay ni pérdidas ni ganancias, *break-even point*, se estimó en 230 millones de rotíferos y el precio mínimo de venta al cual no habría ni pérdidas ni ganancias, *break-even price*, fue de \$0,15.

En los análisis de sensibilidad se evidenció que un 25 % de incremento en el costo de la fuerza laboral, el empaque o los suministros varios, incrementaron el punto de equilibrio en que se compensan los gastos y las ventas en 16 %, 7 % y 4 %, respectivamente. Una posible reducción del rendimiento del 25 % en los cultivos de rotíferos incrementó el punto de compensación entre gastos y ventas en un 34 %, mientras que una disminución del 25 % en el precio de venta conllevaría un 33 % de incremento en el punto de compensación. Las disminuciones estimadas de la ganancia neta por millón de rotíferos serían de menos de 1,0 % con respecto a los incrementos de los costos variables, mientras que un 25 % de disminución en los rendimientos de los cultivos o el precio de venta conllevarían un 5,7 % de disminución en las ganancias unitarias en ambos casos.

## DISCUSIÓN

Usualmente, las larvas de peces marinos tropicales requieren un primer alimento pequeño, de acuerdo a las pequeñas aberturas de sus bocas (Alvarez-Lajonchère y Hernández Molejón, 2001), por lo cual es importante utilizar una especie y cepa pequeña de rotíferos, que tolere bien las condiciones ambientales en que se desarrolle su cultivo (Fu *et al.*, 1997).

El método general de cultivo por lotes es aplicado en centros de producción de juveniles de

peces marinos (Bentley *et al.*, 2008) y hay muchas instalaciones en que se utilizan microalgas concentradas como alimento con buenos resultados (Abu-Rezq *et al.*, 1997; Fu *et al.*, 1997; Yoshimura *et al.*, 1997, 2003; Schipp *et al.*, 2007; Bentley *et al.*, 2008), debido a la composición química beneficiosa de las microalgas (Alvarez-Lajonchère y Hernández Molejón, 2001). Además, su uso ha reducido la necesidad de área y tiempo para la producción de las mismas; sin embargo, el costo es alto (Bentley *et al.*, 2008).

En este estudio realizado se trabajó con una salinidad adecuada de 25 ‰, el intervalo de la temperatura fue ligeramente más baja y el de pH ligeramente más alto que el recomendado para los rotíferos pequeños (Fukusho, 1989; Hagiwara *et al.*, 2007).

En los cultivos intensivos de rotíferos los niveles de oxígeno disuelto son muy importantes y requieren niveles de 10-15 mg/L para alcanzar altas densidades (Candrea *et al.*, 1996; Yoshimura *et al.*, 2003), condición cumplida en el presente trabajo. Los niveles altos de oxígeno mantienen bajos los niveles de amonio, materia orgánica y bacterias (Huguenin y Colt, 2002; Suantika *et al.*, 2003).

En particular, las bajas concentraciones de amonio no ionizado fueron varias veces menores a las consideradas como aceptables por Lubzens y Zamora (2003), Stottrup y McEvoy (2003) y Yoshimura *et al.* (2003). En estas condiciones influyó el alto nivel de oxígeno disuelto, el sistema de colecta de materia orgánica e incluso el uso de las bombas dosificadoras para el suministro del alimento, pues, además de mantener una densidad adecuada de alimento en el agua, evitó la introducción de grandes cantidades, como ocurriría si el suministro hubiese sido en tres o cuatro ocasiones en el día, como era usual, por lo que es el método de distribución adoptado por las tecnologías intensivas recientes (Suantika *et al.*, 2000, 2003; Bentley *et al.*, 2008).

Bajas concentraciones de amonio no ionizado aseguran buenas condiciones para la reproducción y crecimiento de los rotíferos. Yoshimura *et al.* (2003) los lograron con adición automática de una solución de ácido clorhídrico y el uso de sistemas de ultra-filtración. Suantika *et al.* (2000, 2003) mantuvieron niveles bajos de amonio no ionizado con el uso de sistemas de recirculación con bio-filtros, colecta de floculos de materia orgánica, fraccionadores de espuma y suministro de ozono, mientras que Riche *et al.* (2006) y Bentley *et al.* (2008) utilizaron además un producto comercial para neutralizar el amonio.

Las condiciones de buena calidad del agua se reflejaron en índices satisfactorios del cultivo, como la fecundidad y porcentaje de hembras con huevos

(Tamaru *et al.*, 1993), a juzgar por las reportadas con los buenos resultados de cultivo intensivo continuo (Suantika *et al.*, 2003); sin embargo, las tasas de crecimiento detectadas fueron relativamente bajas (< 0,30) en unos tanques y de valores medios en otros (0,30-0,45), ligeramente inferiores a los mejores resultados (0,40-0,60) de cultivos continuos (Suantika *et al.*, 2003).

Las densidades de rotíferos alcanzadas en el sistema de cultivo por lotes fueron varias veces superiores a las logradas anteriormente en el laboratorio del CIAD Mazatlán (Guzmán Navarrete, 2005) e incluso con la densidad de siembra utilizada y el uso de Culture Selco®, las densidades alcanzadas en cuatro días fueron de aproximadamente un 33 % a un 50 % de las obtenidas en el presente trabajo. Las densidades obtenidas en el presente trabajo se encuentran en el intervalo de 1 000 – 2 000 rotíferos/ml comúnmente obtenidos en tanques de 500 – 1 000 L en centros comerciales de producción de juveniles de peces marinos (Moretti *et al.*, 1999; Dhert *et al.*, 2001; Schipp *et al.*, 2007). Otras técnicas mucho más intensivas y eficientes, logran densidades varias veces más altas, como los de Suantika *et al.* (2003) y Yoshimura *et al.* (2003).

El resultado global del análisis financiero del experimento piloto fue favorable y la tecnología de producción fue altamente rentable, con estimados de gastos totales cercanos a la mitad de los reportados por Candreva *et al.* (1996) y Suantika *et al.* (2003); además, los rotíferos que serán utilizados en la propia planta, sin considerar los gastos del empaque y del impuesto sobre la ganancia, el costo será aún un 40 % más bajo.

Los costos de la producción del cultivo de rotíferos dependen en gran medida de la tecnología

de cultivo aplicada. Las semi-intensivas a base de microalgas y levaduras como fuentes de alimento requieren de una gran fuerza de trabajo, mientras que otras utilizan sistemas intensivos con microalgas concentradas como alimento (Lubzens *et al.*, 1997; Fu *et al.*, 1997; Yoshimura *et al.*, 1997), con los que se alcanzan densidades muy altas y se reducen los costos de inversión y fuerza de trabajo fundamentalmente (Suantika *et al.*, 2003).

En el análisis realizado en el presente estudio, la inversión de \$4 112 no se aprovechó adecuadamente, debido a que solo se consideró un sistema de cuatro tanques en producción por lotes; sin embargo, con un 15 % más de inversión (\$0,03 de inversión por millón de rotíferos adicionales) para contemplar cuatro ciclos simultáneos de producción (16 tanques) con la cosecha de cuatro tanques diarios (6 400 millones de individuos/día), se pudiera lograr una eficiencia mayor, con un costo de \$0,93/millón de rotíferos. Además, la producción de cuatro ciclos simultáneos hubiese requerido la misma fuerza laboral y por tanto, la proporción de este concepto hubiese sido mucho menor. Esta relación de escala de producción coincide con los reportes de Lubzens *et al.* (1997), Suantika *et al.* (2003) y Bentley *et al.* (2008).

A pesar de que en el presente estudio solo se realizaron tres ciclos se hizo la comparación con los sistemas de cultivo por lotes y por cultivo continuo del sistema de 750 L de Suantika *et al.* (2003) y el de pequeña escala de 125 L y un máximo de  $1,78 \times 10^8$  rotíferos/día de Bentley *et al.* (2008). En cuanto a rendimientos por día, el cultivo continuo de Suantika *et al.* (2003) fue más eficiente, seguido por este trabajo y después el de Bentley *et al.* (2008) (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de los análisis financieros de la producción de rotíferos por lotes y por sistemas de recirculación reportadas por Suantika *et al.* (2003) y Bentley *et al.* (2008) con la obtenida en el presente estudio con un sistema por lotes.

Rubros y conceptos	Suantika <i>et al.</i> (2003)		Bentley <i>et al.</i> (2008)		El presente trabajo
	por lotes	por recirculación	por lotes	por recirculación	por lotes
Volumen útil de unidad de cultivo (l)	n.d.	750	125	125	1 000
Área total utilizada para la producción de rotíferos (m <sup>2</sup> )	530	320	n.d.	n.d.	48
Producción diaria (individuos/día)	$2 \times 10^9$	$2 \times 10^9$	$1,06 \times 10^8$	$1,70 \times 10^8$	$1,6 \times 10^9$
Costo total por millón de rotíferos diarios (\$, USD)	31,69	19,39	0,46	0,29	1,65 <sup>a</sup>
Gastos de depreciación por millón de rotíferos diarios (\$, USD)	7,82	5,38	0,0034	0,0030	2,57
Gastos de fuerza laboral por millón de rotíferos diarios (\$, USD)	10,5	3,68	0,29	0,06	0,37
Gastos de alimentación por millón de rotíferos diarios (\$, USD)	10,58	8,37	0,09	0,17	0,043

(n.d.) no disponible; (a) sin considerar los gastos de empaque.

Bentley *et al.* (2008) reportaron el menor costo operacional total, el de inversión, alimentación y el de fuerza de trabajo por millón de rotíferos, seguidos de los resultados de este trabajo y después el de Suantika *et al.* (2003) (Tabla 3).

La comparación entre los sistemas por lotes y de cultivo continuo mostró que los segundos fueron los más eficientes en cuanto a rendimiento y costos, por los menores costos de inversión y de la fuerza laboral, que fue el componente más importante de los gastos operacionales (Tabla 3).

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (ICMyL de la UNAM) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) y a la Dirección del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), por el apoyo recibido para la realización del presente trabajo. Los autores desean expresar su agradecimiento a los integrantes del Laboratorio de Reproducción del CIAD, por su colaboración.

## REFERENCIAS

- Abu-Rezq, T., Al-Shimmari, J., Dias, P. (1997) Live food production using batch culture and chemostat system in Kuwait. *Hydrobiologia* **358**, 173-178.
- Alvarez-Lajonchère, L., Hernández-Molejón, O.G. (2001) Producción de juveniles de peces estuarinos para un centro en América Latina y el Caribe: diseño, operación y tecnologías. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, L.A., 424 pp.
- Alvarez-Lajonchère, L., Reina-Cañez, M.A., Camacho-Hernández, M.A., Kraul, S. (2007) Design of a pilot-scale tropical marine finfish hatchery for a research center at Mazatlán, Mexico. *Aquacultural Eng.* **36**, 81-96.
- Aquatic Eco-system Inc. (2012) Master catalog. Aquatic Eco-system Inc., Florida, 349 pp.
- Bentley, C.D., Carroll, P.M., Watanabe, W.O., Riedel, A.M. (2008) Intensive rotifer production in a pilot-scale continuous culture recirculating system using nonviable microalgae and an ammonia neutralizer. *J. World Aquacult. Soc.* **39**, 625-635.
- Candrea, P., Dhert, P., Novelli, A., Brissi, D. (1996) Potential gains through a alimentation/nutrition improvements in the hatchery. In: B. Chatain, M. Sargolia, J. Sweetman y P. Sorgeloos (Eds.), *Seabass and Seabream Culture: Problems and Prospects, an International Workshop* (pp. 149-159). Verona, Italia.
- Dehasque, M., Ooghe, B., Wille, M., Candrea, P., Cladas, Y., Lavens, P. (1997) Automation of live food in industrial hatcheries: zootechnics and economics. *Aquacult. Int.* **5**, 179-182.
- Dhert, P., Rombaut, G., Suantika, G., Sorgeloos, P. (2001) Advancement of rotifer culture and manipulation techniques in Europe. *Aquacult.* **23**, 129-146
- Fu, Y., Hada, A., Yomashita, T., Yoshida, Y., Hino, A. (1997) Development of a continuous culture system for stable mass production of the marine rotifer *Brachionus*. *Hydrobiologia* **358**, 141-151.
- Fukusho, K. (1989) Biology and mass production of the rotifer, *Brachionus plicatilis* (2). *Int. J. Aq. Fish. Technol.* **1**, 292-299.
- Guzmán Navarrete, R. (2005) *Cultivo Experimental del Rotífero Brachionus Rotundiformis Alimentados con una dieta comercial*. Tesis de Diploma, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, , 43 pp.
- Hagiwara, A., Suga, F., Akazawa, A., Kotani, T., Sakakura, Y. (2007) Development of rotifer strains with useful traits for rearing fish larvae. *Aquaculture* **268**, 44-52.
- Huguenin, J.E., Colt, J. (2002) *Design and Operating Guide for Aquaculture Seawater Systems*. 2nd ed., Amsterdam, Elsevier, 264 pp.
- Ibarra-Castro, L., Martínez Cordero, F.J., Alvarez-Lajonchère, L. (inédito) Financial analysis of pilot-scale egg production of spotted rose snapper, *Lutjanus guttatus*. *Aquaculture Economics & Management*.
- Leu, M-Y, Chen, I-H, Fang, L-S (2003) Natural spawning and rearing of mangrove red snapper, *Lutjanus argentimaculatus*, larvae in captivity. *The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, **55**, 22-30.
- Lubzens, E., Zmora, O. (2003) Production and nutritional value of rotifers (cap.2). In: J.G. Stottrup, y L.A. McEvoy (Eds.), *Live feeds in marine aquaculture* (318 pp.), Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Lubzens, E., Minkoff, G., Barr, Y., Zmora, O. (1997) Mariculture in Israel - past achievements and future directions in raising rotifers as food for marine fish larvae. *Hydrobiologia* **358**, 13-20.
- Moretti, A., Pedini Fernandez-Criado, M., Cittolin, G., Guidastrì, R. (1999) *Manual on Hatchery Production of Seabass and Gilthead Sea-bream*. Vol. 1. Rome, FAO, 194 pp.
- Riche, M., Pfeiffer, T.J., Garia, J. (2006) Evaluation of a sodium hydroxymethanesulfonate product for reducing total ammonia nitrogen in a small-scale rotifer batch culture system. *North Amer. J. Aquacult.* **68**, 199-205.

- Sánchez-Téllez, J.L., Alvarez-Lajonchère, L. (inédito) Experimentos de cultivo intensivo del rotífero *Brachionus rotundiformis*. Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras.
- Schipp, G., Bosmans, J., Humphrey, J. (2007) Northern Territory Barramundi Farming Handbook. Northern Territory Department of Primary Industry, Fisheries and Mines, Technical Publication, 80 pp.
- Shang, Y.C. (1990) Aquaculture economic analysis: an introduction. Advances in World Aquaculture, Vol. 2. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA., 211 pp.
- Stottrup, J.G., McEvoy, L.A. (2003) *Live feeds in marine aquaculture*. Blackwell Science Ltd., Oxford, 318 pp.
- Su, H.M., Su, M.S., Liao, I.C. (1994) Selection of super small-size strain of the rotifer (*Brachionus plicatilis*) and its rearing conditions. *J. Taiwan Fish. Res.* **2**, 19-29.
- Suantika, G., Dhert, P., Nurhudah, M., Sorgeloos, P. (2000) High-density production of the rotifer *Brachionus plicatilis* in a recirculation system: consideration of water quality, zootechnical and nutritional aspects. *Aquacult. Eng.* **21**, 201-214.
- Suantika, G., Dhert, P., Sweetman, E., O'Brien, E., Sorgeloos, P. (2003) Technical and economical feasibility of a rotifer recirculation system. *Aquaculture* **227**, 173-189.
- Tamaru, C.S., FitzGerald, W.J., Jr. Sato, V. (1993) *Hatchery Manual For The Artificial Propagation of Striped Mullet (Mugil cephalus L.)*. Guam Aquaculture Development and Training Center and The Oceanic Institute, Guam, 167 pp.
- Velasco-Blanco, G, Puello-Cruz, A.C., Alvarez-Lajonchère, L., González-Rodríguez, B., Abdo-de la Parra, M.I., Rodríguez-Ibarra, L.E., García-Ortega, A. (2012) Alimento vivo. En: L. Alvarez-Lajonchère y A.C. Puello-Cruz (eds.), *El pargo flamenco, Lutjanus guttatus. Producción controlada de huevos, larvas y juveniles* (169 pp). Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo y AM Ediciones.
- Yoshimura, K., Usuki, K., Yoshimatsu, T., Kitajima, C., Hagiwara, A. (1997) Recent development of a high density mass culture system for the rotifer *Brachionus rotundiformis* Tschgunoff. *Hydrobiologia* **358**, 139-144.
- Yoshimura, K., Tanaka, K., Yoshimatsu, T. (2003) A novel culture system for the ultra-high-density production of the rotifer, *Brachionus rotundiformis* – a preliminary report. *Aquaculture* **227**, 165-172.

Recibido: 11/03/2013  
Aceptado: 11/10/2013

**Como citar este artículo:**

Alvarez-Lajonchère, L., Sánchez-Téllez, J.L. (2013) Análisis financiero de una producción piloto del rotífero, *Brachionus rotundiformis*, con una dieta artificial. *Rev. Invest. Mar.* **33**(2), 28-36.