

2016

SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN
PARA LA ACUICULTURA DE
ESPECIES MARINAS, UNA
ALTERNATIVA VIABLE, EFICIENTE Y
AMIGABLE CON EL AMBIENTE



Ing. Carlos Alberto Sotomayor Bello*,
M.Sc. Aníbal Verástegui Maita*

Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM),
Facultad de Ingeniería Pesquera (FAPE), Lima Perú.

Email: *csotomayor@proacuicultura.com.pe /
anibal.verastegui@gmail.com

Resumen

Los sistemas de recirculación de agua para la acuicultura (SRA) han demostrado ser un medio importante para la producción de peces en los países más desarrollados, donde los requerimientos cantidad y calidad de agua y disponibilidad de terreno son limitantes, con regulaciones ambientales cada vez más estrictas. En este contexto, el presente trabajo contribuye al conocimiento sobre el comportamiento de los parámetros de calidad de agua en un SRA con agua de mar, planteándose el estudio de la dinámica del oxígeno y el amonio (NAT, nitrógeno amoniacal total), por representar los parámetros más limitantes en la producción de peces en este tipo de sistemas. Para ello, se utilizó un sistema de recirculación del Centro de Investigación Piscícola, de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se acondicionaron tilapias en agua de mar (34.5 a 35.5 ‰), las que produjeron los desechos necesarios para realizar el estudio. El oxígeno en el agua del sistema SRA, presentó una distribución espacial observándose consumo de oxígeno en los tanques de cultivo y en el sedimentador, $0.082\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$ y $0.014\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente, e incorporación de este gas en el biofiltro percolador y en los tanques de almacenamiento, $0.010\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$ y $0.086\text{g}\cdot\text{h}^{-1}$ respectivamente. La dinámica del oxígeno en el sistema también se presentó a través de la variación horaria de este gas; esta variación horaria es influenciada principalmente por la temperatura. Se observó también que el funcionamiento del biofiltro percolador reduce el amonio, de 0.061 a $0.036\text{ mg NAT}\cdot\text{L}^{-1}$, mientras en los tanques de cultivo se observó un incremento, de 0.040 a $0.063\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. El sistema presentó un pico de concentración de amonio ocho horas después de la última ración de alimento, lo que sugiere que la concentración de este parámetro está influenciada por la alimentación. Además, se destaca la función del biofiltro, el cual mostró eficiencia en la remoción de amonio, con tasas que estuvieron en el rango 20.51 a 55.23 por ciento.

Palabras claves: Sistemas de recirculación, acuicultura marina, nitrificación, biofiltro, amonio, oxígeno.

I. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. Componentes y distribución del SRA

La figura 1 muestra los componentes y distribución del SRA. El agua de mar fue extraída de la Bahía de Miraflores ($12^{\circ} 10' 00.36''$ S y $77^{\circ} 02' 12.26''$ W) y empleando un camión cisterna de 10 m^3 , trasladada a la Universidad Nacional Agraria La Molina, para su desinfección e instalación en el SRA. La desinfección se hizo con 25 ml.m^{-3} de formalina dejándose en circulación el agua en el sistema durante 15 días.

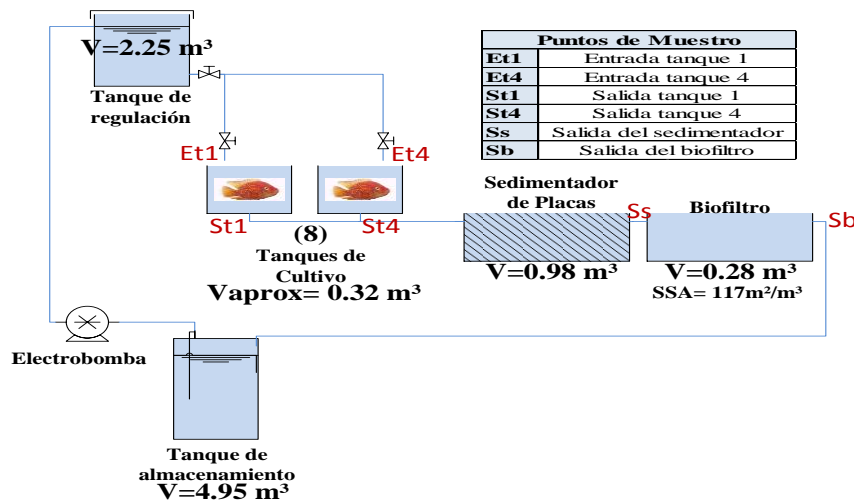


Figura 1: Componentes del SRA y ubicación de los puntos de muestra.

1.2. Metodología

Esquema experimental

Se utilizaron 110 tilapias rojas (*Oreochromis sp.*), distribuidas en 8 tanques. Los peces fueron aclimatados al agua de mar, manteniéndolos en un tanque de 0.30 m^3 por espacio de 20 días con la salinidad incrementándose a una tasa de 5 por ciento por día, hasta alcanzar 35 ‰. Luego las tilapias fueron introducidas al SRA un mes antes de comenzar el experimento para que sus desechos ayuden a activar las bacterias en el biofiltro, siguiendo la metodología de “activación en frío”. Para ayudar a la activación del biofiltro, se inocularon bacterias de marca SERA MARIN BIO REEFCLEAR: 0.5 L la primera semana y 0.5 L la segunda semana de activación. Los peces utilizados en el trabajo fueron distribuidos por grupos con pesos similares (Tabla 1).

Tabla 1: Densidad de carga.

(a) Datos al inicio del experimento.

Carga inicial promedio por tanque	$1,93 \pm 0,0018 \text{ Kg.m}^{-3}$
-----------------------------------	-------------------------------------

(b) Datos al final del experimento.

Carga final promedio por tanque	$2,50 \pm 0,0041 \text{ Kg.m}^{-3}$
---------------------------------	-------------------------------------

La alimentación de los peces fue realizada 3 veces al día (8:00 a.m., 12:00 p.m. y 4:00 p.m.), a nivel de saciedad (*ad libitum*). El alimento fue balanceado extruido para tilapia, marca Nicovita Crecimiento I con 32 por ciento de proteína. Los tanques de cultivo fueron limpiados diariamente empleando un sifón para extraer los sólidos acumulados en el fondo y el sedimentador de placas una vez por semana.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1. Dinámica del Oxígeno en el Sistema de Recirculación

Distribución de oxígeno en los puntos de muestreo

Castelló (1993), sostiene que hay especies muy sensibles a la cantidad de oxígeno disuelto en el agua dulce como marina y expone una serie de ejemplos. Para el caso de especies marinas, los valores mínimos para la lubina (*Dicentrarchus labrax*) son de 3 mg.L⁻¹, siendo los óptimos el 90 por ciento de saturación de oxígeno y para el lenguado (*Solea solea*) el mínimo es también 3 mg.L⁻¹, siendo letal una concentración de 1 mg.L⁻¹. Mallya, (2007), refiere > 5 mg.L⁻¹ y 75 por ciento de saturación como valores óptimos para cultivo de peces marinos. Los valores obtenidos en este experimento muestran concentraciones y porcentajes de saturación adecuados para el cultivo en agua de mar (Fig. 2 y Tabla 2).

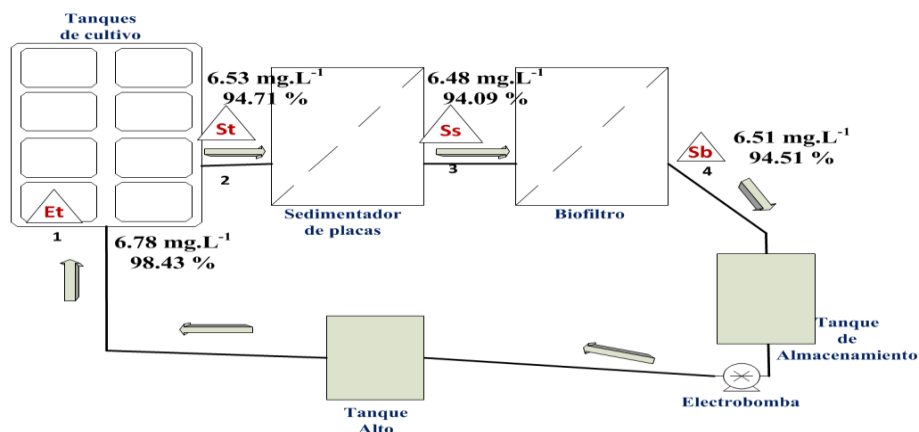


Figura 2: Esquema de distribución de oxígeno en el sistema.

La Tabla 2 muestra la concentración promedio de oxígeno y los porcentajes de saturación para cada punto de muestreo obtenidos del análisis semanal.

Tabla 2: Concentración promedio (mg.L^{-1}) y porcentaje de saturación de oxígeno en las estaciones de muestreo del SRA.

Estaciones de muestreo	Concentración promedio de OD mg.L^{-1}	Porcentaje de Saturación promedio
Et	$6,78 \pm 0.51$	$98,43 \pm 6.79$
St	$6,53 \pm 0.57$	$94,71 \pm 7.65$
Ss	$6,48 \pm 0.57$	$94,09 \pm 7.61$
Sb	$6,51 \pm 0.52$	$94,51 \pm 6.88$

Variación horaria en la concentración de oxígeno

La figura 3 muestra la variación horaria de las concentraciones promedio de oxígeno disuelto para las tres series de muestreo. Los valores se encuentran dentro de los rangos óptimos requeridos para el cultivo de peces en agua de mar, tanto las concentraciones como los porcentajes de saturación. Valores mínimos: 5 mg.L^{-1} y 75 por ciento de saturación (Mallya 2007). Watson y Hill (2006) sostienen también como regla general para cultivos marinos, mantener los niveles de OD por encima de los 5 mg.L^{-1} . Se demostró un correcto funcionamiento del sistema, manteniendo las concentraciones más altas en los tanques de cultivo.

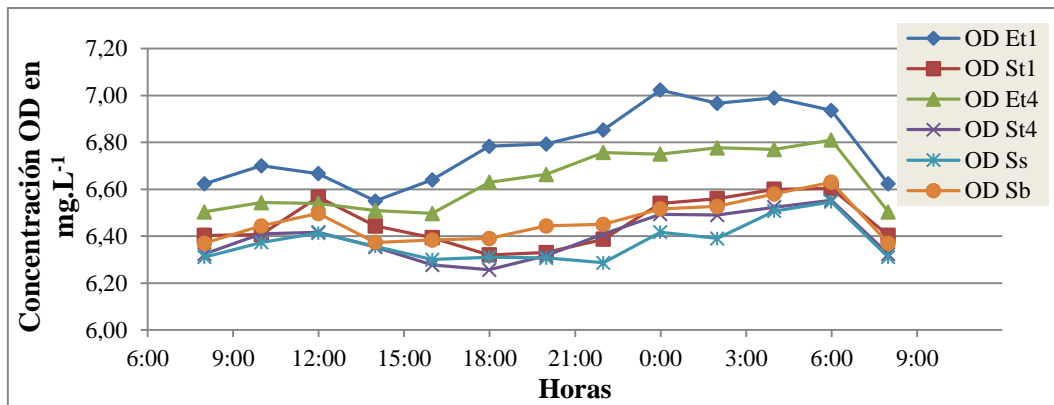


Figura 3: Variación horaria de OD en mg.L⁻¹, promedio de las 3 series de muestreo.

La variación horaria de oxígeno disuelto en las tres series de muestreos como en el promedio de estas, mostró un comportamiento cíclico relacionado con la temperatura: mientras bajó la temperatura en horas de la noche, las concentraciones de oxígeno disuelto tendieron a incrementarse.

La variación horaria de las concentraciones de oxígeno está también influenciada por la alimentación; ya que alrededor de las horas programadas para la alimentación (8:00, 12:00 y 16:00), las concentraciones de oxígeno tendieron a bajar y permanecer relativamente constantes durante el resto de las horas del día. Similar fenómeno reportó un estudio realizado por Tran-Duy et al. (2008) que indica que las concentraciones de oxígeno tuvieron cambios abruptos desde el momento justo antes de la alimentación al momento exacto después de la alimentación, para permanecer luego constantes.

2.2. Dinámica del NAT en el Sistema de Recirculación

Distribución del NAT en los puntos de muestreo

Las concentraciones promedio de nitrógeno amoniacal total (NAT) y el amonio no ionizado (NH₃-N), se distribuyeron según lo que se observa en la figura 4. Estos valores son apropiados para el cultivo de peces en agua de mar, encontrándose por debajo de los límites críticos para el NAT <1.0 (PHILMINAQ, 2008) y el NH₃-N <0.0125 mg.L⁻¹ Colt y Armstrong (1981); Meade (1985), citados por Chen et al. (2006). Las concentraciones promedio presentadas resultaron del análisis semanal de las concentraciones de NAT y NH₃-N. Los valores de concentración de NAT se encuentran en todas las semanas por debajo del límite crítico (< 1 mg.L⁻¹ (PHILMINAQ, 2008)) para el cultivo de peces en agua de mar.

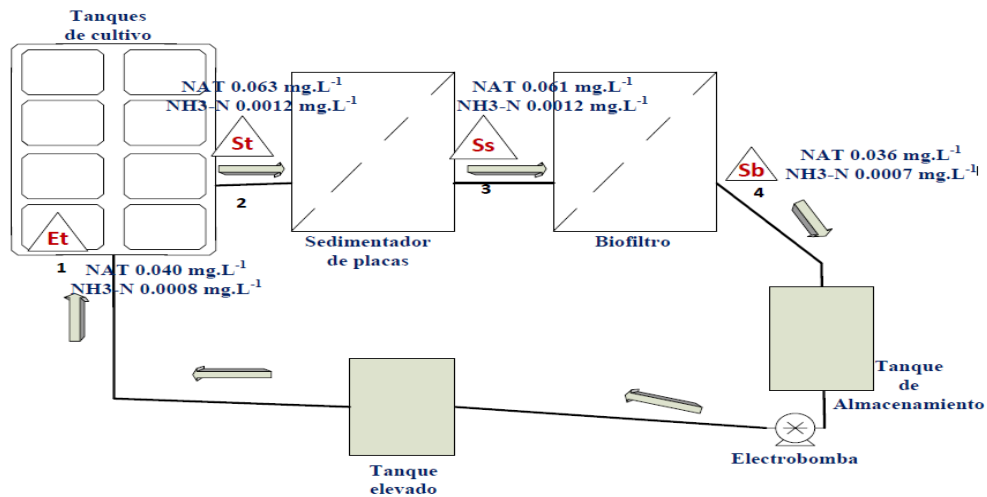


Figura 4: Esquema de distribución de NAT en el sistema RAS.

Tabla 4: Concentraciones promedio de NAT, NH₃-N en mg.L⁻¹ y porcentaje de NH₃-N presente en el NAT.

Puntos de muestreo	Promedio NAT (mg.L ⁻¹)	NH ₃ -N (mg.L ⁻¹)	Porcentaje de NH ₃ -N presente en NAT
Et1	0,037±0,027	0,0007	1,87
St1	0,064±0,040	0,0012	1,88
Et4	0,042±0,034	0,0008	1,87
St4	0,061±0,036	0,0011	1,87
Ss	0,061±0,043	0,0012	1,90
Sb	0,036±0,025	0,0007	1,91

Con relación al NH₃-N, forma más tóxica de amonio en el agua, la Tabla 4 muestra los valores promedio de concentración de amonio no ionizado en el experimento. Según Tetzlaff y Heideinger (1992), al aumentar el pH el porcentaje en el NAT de su forma tóxica (NH₃-N) aumenta logarítmicamente, a 20°C y pH 7.0, alrededor de 0.4% del amonio total (NAT) está en su forma molecular tóxica (NH₃-N). Los datos obtenidos en este experimento, muestran que para un pH promedio de 7.74 y una temperatura promedio de 22.3°C, el porcentaje promedio de la forma molecular tóxica del amonio fue alrededor de 1.88 por ciento del NAT.

Variación horaria de la concentración de NAT

La Fig. 5, muestra la variación horaria de las concentraciones promedio de NAT para las 3 series de muestreos.

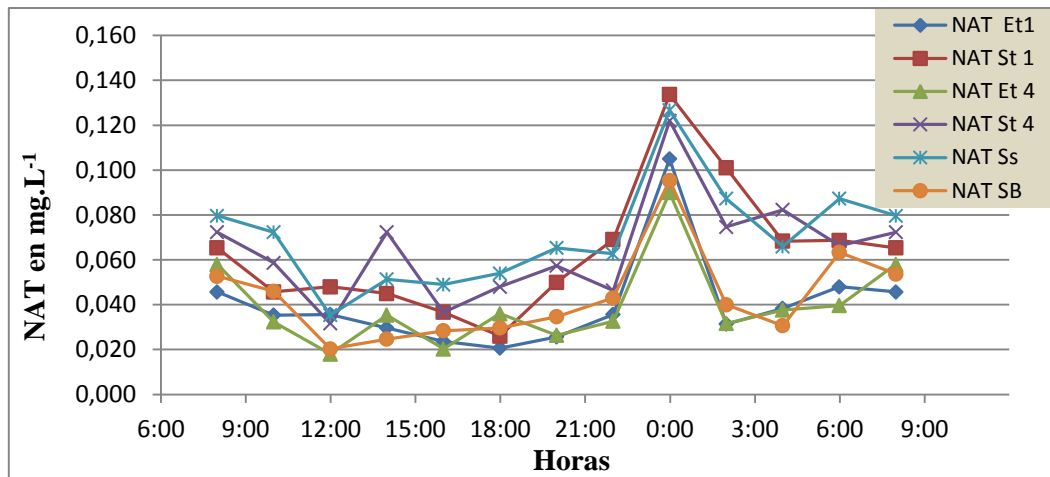


Figura 5: Variación horaria de NAT en mg.L^{-1} , promedio de las 3 series de muestreo.

Las menores concentraciones promedio de NAT se encontraron para los 3 casos en las entradas de los tanques de cultivo (Et1 y Et4) y la salida del biofiltro (Sb). En todos los casos, se puede observar que los valores están por debajo del valor crítico, $< 1 \text{ mg.L}^{-1}$ propuesto por PHILMINAQ (2008). Los valores de $\text{NH}_3\text{-N}$ se encontraron por debajo del límite crítico $< 0,0125 \text{ mg.L}^{-1}$ descrito por Colt y Armstrong, 1981; Meade, 1985; citados por Chen et al. (2006).

Con relación a los análisis estadísticos desarrollados para el amonio, se observó diferencias significativas entre las estaciones Ss-Sb (entrada y salida del biofiltro), demostrando que existió nitrificación, lo que quedó demostrado con la eficiencia del biofiltro.

2.3. Eficiencia del biofiltro en la remoción de amonio

La Tabla 6, muestra que la tasa de remoción de amonio (NR%), tasa de conversión volumétrica de NAT (VTR) y la tasa de remoción de amonio por área (AAS), fue aumentando para cada series de muestreo. La eficiencia del biofiltro fue aumentando con el aumento de la concentración de NAT en el sistema.. Zhu y Chen (1999), citados por Interdonato (2012), comentan que la eficiencia del biofiltro es proporcional a la concentración de NAT, concentración que debe mantenerse por debajo de 1 mg.L^{-1} como valor de seguridad.

Tabla 6: Valores de la eficiencia del biofiltro, en las series de muestreos.

	Serie I	Serie II	Serie III
Caudal de ingreso al biofiltro ($\text{m}^3.\text{día}^{-1}$)	61,82	66,62	66,62
Concentración promedio de NAT Ss (g.m^{-3})	0,039	0,076	0,097
Concentración promedio de NAT Sb (g.m^{-3})	0,031	0,055	0,043
NR% = Tasa de remoción de NAT	20,51	26,9	55,23

VTR = Tasa de remoción volumétrica de NAT ($\text{g.m}^{-3}.\text{día}^{-1}$)	1,77	4,84	12,74
AAS = tasa de remoción de amonio por área ($\text{g.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$)	10,16	44,37	116,90

III. CONCLUSIONES

El oxígeno contenido en el agua del sistema SRA, presentó una distribución espacial concordante con la función que cada componente del SRA cumple en su operación, así se observó consumo de oxígeno en los estanques de cultivo y en el sedimentador a razón de 0.082 g.h^{-1} y 0.014 g.h^{-1} respectivamente, e incorporación de este gas al agua en su paso por el biofiltro percolador y en los tanques de almacenamiento, a razón de 0.010 g.h^{-1} y 0.086 g.h^{-1} respectivamente.

La dinámica del oxígeno en el sistema también se presentó a través de la variación horaria de este gas. Observándose la influencia ejercida por la variación horaria de temperatura y por efecto de la alimentación a los peces; niveles máximos de oxígeno en horas de la noche y niveles mínimos entre comidas.

Se observó en la distribución espacial del amonio, el trabajo realizado por el biofiltro percolador en la reducción de este compuesto, de 0.061 a $0.036 \text{ mg NAT.l}^{-1}$, mientras en los tanques de cultivo se observó un incremento de 0.040 a 0.063 mg.l^{-1} . Y en cuanto a la variación horaria de las concentraciones de amonio se observó incrementarse a las 00:00 horas, ocho horas después de la última ración, demostrándose que la concentración del NAT está influenciada por la alimentación.

La eficiencia del biofiltro mostró los siguientes valores entre la primera y la última serie de muestreos: NR% entre 20.51 y 55.23 por ciento; el VTR entre 1.11 y $12.74 \text{ gNAT.m}^{-3}.\text{día}^{-1}$ y el AAS entre 10.16 y $116.90 \text{ gNAT.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$, lo que demuestra la proporcionalidad de estos parámetros con los valores de concentración de amonio: la remoción se incrementó en la medida que los niveles de amonio en el sistema se incrementaron, esto demuestra el funcionamiento adecuado del biofiltro.

Los valores encontrados en los diferentes parámetros analizados demuestran que el sistema estudiado soportaría el cultivo experimental de diferentes especies marinas.

IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alatorre Jácome, O. 2007. Calidad de agua y principios de diseño en los sistemas de recirculación acuícola (RAS). Tesina Ing. en Invernaderos. Santiago de Querétaro, MX. Universidad Autónoma de Querétaro. 79 p.

2. Barón, B; Buckle, F; Hernández, M. 2004. Intensive culture of *Litopenaeus vannamei* Boone 1931, in a recirculating seawater system. *Ciencias Marinas*, marzo vol. 30(1), número. 01B. Universidad Autónoma de Baja California. pp.179-188.
3. Castelló, F. 1993. *Acuicultura marina: fundamentos biológicos y tecnología de la producción*. Ediciones Universitat de Barcelona. ES. 2 Ed (Vol. 4). 747p.
4. Chen, S; Ling, J; Blancheton, JP. 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. (en línea). *Aquacultural Engineering*, 34(3), 179-197.
5. Interdonato, F. 2012. *Recirculating aquaculture system (RAS) biofilters: focusing on bacterial communities complexity and activity*. (en línea). Tesis Doctoral. Università Degli Studi di Messina, IT. 124p. Consultado el 14 de marzo de 2015. Disponible en: <http://archimer.ifremer.fr/doc/00074/18516/16060.pdf>
6. Mallya, Y. 2007. *The effects of dissolved oxygen on fish growth in aquaculture*. Fisheries Training Programme, Final Project. The United Nations University 30p.
7. Parsons, TR; Maita, Y; and Lalli CM. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. 1^{ra} ed. UK. Wheaton and Co. Ltd. Exeter. 188p.
8. PHILMINAQ (Mitigating Impact from Aquaculture in the Philippines). 2008. *Water Quality Criteria and Standards for Freshwater and Marine Aquaculture*. *Aquaculture.asia* (en línea). Annex 2. 34 p. Consultado el 03 de febrero de 2015. Disponible en: <http://aquaculture.asia/files/PMNQ%20WQ%20standard%202.pdf>
9. Tetzlaff, BL; Heideinger, RC. 1992. *Basic principles of biofiltration and system design*. Cooperative Fisheries Research Laboratory, Southern Illinois University. Bulletin No 9.1 (1-19).
10. Tran-Duy, A; Schrama, JW; van Dam, AA; and Verreth, JA. 2008. Effects of oxygen concentration and body weight on maximum feed intake, growth and hematological parameters of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 275(1), 152-162.
11. Verástegui, A., Vega, E. y Lazo, O. 2001. Balance de amonio y oxígeno en un sistema de recirculación para acuicultura experimental. *Anales Científicos Universidad Nacional Agraria La Molina* (p. 152).
12. Wang, Y; Weili, Z; Li, Z;Wu, W; Zhang, Z. 2013. Sustainable nitrification in fluidized bed reactor with immobilized sludge pellets. *Water SA*, 39(2), 285-294.
13. Watson, CA; Hill, JE. 2006. Design criteria for recirculating, marine ornamental production systems. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 157-162.