



Crecimiento de goldfish, *Carassius auratus*, y lechuga, *Lactuca sativa*, en sistema acuapónico en condiciones de invernadero.

Growth of Goldfish, *Carassius auratus*, and lettuce, *Lactuca sativa*, in an aquaponic system under greenhouse conditions.

Ana Rodríguez Aguilar¹ y Alina Zafra Trelles²

¹Tesista, Escuela AP de Pesquería. Universidad Nacional de Trujillo (UNT). Trujillo. Perú. ²Departamento de Pesquería. UNT

RESUMEN

Se evaluó el crecimiento de *Carassius auratus* "goldfish" y *Lactuca sativa* "lechuga" en sistema acuapónico grow bed en 178 días. Para el cultivo se utilizó una cubeta de 420 L, dos camas de 1m² con 20 cm de grava, dos bombas de 1200 L/h, un aireador de 4 L/min y dos sifones. Se empleó 70 ejemplares de *C. auratus*, alimentados tres veces al día con Truchina al 42%, con una tasa de alimentación del 5%; asimismo para los tres experimentos de *L. sativa* se emplearon densidades de 12, 15 y 18 lechugas/m² respectivamente. Quincenalmente se registraron datos de peso y longitud para los peces y de las lechugas. Se colectó información diaria de temperatura ambiente y del agua, semanalmente se midió el pH, nitritos, nitratos, amonio-amoniaco y dureza de carbonatos. Además la tasa de crecimiento absoluto y relativo (TCA y TCR) fue de 4,95 g y 6,54 cm en los goldfish y para las lechugas, los pesos en el primer experimento fue 62,09 y 63,34 g, el segundo experimento con 94,88 y 110,44 g y el tercer experimento fue 92,96 y 102,46 g. El crecimiento de los peces fue lento, esto posiblemente a la influencia de la temperatura ambiente y al pH; para *L. sativa*, el mayor crecimiento se obtuvo en la segunda cosecha. Sin embargo, con el análisis de varianza (ANAVA) no se encontró diferencias en el crecimiento en las camas de las lechugas.

Palabras clave: Crecimiento, *Carassius auratus*, *Lactuca sativa*, sistema acuapónico.

ABSTRACT

The growth of *Carassius auratus* "goldfish" and *Lactuca sativa* "lettuce" in grow bed aquaponic system was evaluated in 178 days. For the culture was used one tray of 420 L, two beds of 1m² with 20 cm of gravel, two bombs of 1200 L/h, one aerator of 4L/min and two siphons. Were employed 70 specimens of *C. auratus*, fed three times a day with Truchina to 42%, with a feed rate of 5%. Also for the three experiments of *L. sativa* was used, densities of 12, 15 and 18 lettuces/m² respectively. Every 15 days registered information of weight and length for the fishes and the lettuces. Was collected daily information of temperature ambient and of the water, weekly was measured pH, nitrite, nitrate, ammonia-ammonium and carbonate hardness. Also the growth rate absolute and relative (TCA and TCR). The growth was of 4.95 g and a length of 6.54 cm for goldfish and for the lettuces, the weights in the first experiment was 62.09 and 63.34 g, the second experiment with 94.88 and 110.44 g and the third experiment was 92.96 and 102.46 g. The growth of the fishes was slow, this possibly to the influence of the ambient temperature and the pH; for the plants, the major growth was in the second experiment. However, the analysis of variance (ANOVA) wasn't found difference in the growth in the beds of lettuces.

Keyword: Growth, *Carassius auratus*, *Lactuca sativa*, aquaponic system.

INTRODUCCIÓN

Definida como la combinación de un sistema recirculante de acuicultura con la técnica de hidroponía, la acuaponía se utiliza como una fuente de producción de alimentos que incluye la incorporación de peces, plantas y bacterias -organismos de ambientes distintos que nunca se han combinado en un ambiente natural- en un medio en donde pueden cohabitar a través de un proceso simbiótico: se favorece el interés productivo peces-plantas^{1,2}.

En la acuaponía las raíces de las plantas y la rizobacterias remueven nutrientes del agua a partir de desechos generados por las heces de los peces, algas y la descomposición de los alimentos: son contaminantes que podrían alcanzar niveles tóxicos para los peces, pero dentro de este sistema sirven como fertilizantes para el crecimiento de las plantas; a su vez, las camas hidropónicas funcionan como un biofiltro que mejora la calidad del agua en los tanques de los peces³.

En efecto, los desechos orgánicos son convertidos, a través de la acción bacteriana, en nitratos que sirven como fuente de alimento para plantas; éstas al asimilar los nitratos, limpian el agua para los peces actuando como filtro biológico; es decir, ya no aparecen amonio y nitritos, que son compuestos nitrogenados que en anaerobiosis pueden dar lugar a la formación de metano y sulfuro de hidrógeno, gases altamente tóxicos para los peces^{1,4,5}.

Los sistemas acuapónicos se diseñan como formatos denominados: growing power model, el raft system o cama flotante, NFT system o sistema de película fina y el grow bed; de ellos, este último presenta tanques de peces y una o más camas de plantas que utilizan como sustrato piedras, arcilla expandida, roca volcánica o perlitas y elimina el uso de biofiltros⁶. Estos sistemas poseen variaciones y niveles de tecnificación dependiendo de las necesidades para las cuales haya sido establecido; asimismo, hay gran variedad de plantas y organismos acuáticos que pueden ser cultivados en este sistema, dentro de los que destacan la tilapia, *Oreochromis* spp., como especie destinada a la alimentación y el pez ornamental goldfish, *Carassius* sp.⁷.

C. auratus es un pez altamente tolerante a diversas condiciones ambientales; por ejemplo: (i) pH entre 6,8 y 7,6, (ii) temperatura entre los 20 y 30°C y (iii) concentración de O₂ mayor a 4 ppm, de amonio menor a 2 mg/l, de nitrito de 1 mg/l y de nitrato, hasta de 100 mg/L; al mismo tiempo, esta especie tiene un gran valor comercial y los importes por exportación superan el millón de dólares^{8,9,10,11,12}.

Por su parte, la selección de los vegetales está directamente relacionada con la densidad de peces y la concentración de nutrientes de los efluentes acuícolas: más de 30 especies de vegetales, dentro de ellas la lechuga (*Lactuca sativa*) han sido cultivadas en sistemas integrados con bases experimentales¹³. La lechuga es una hortaliza de ciclo corto, (alrededor de 45 días luego de trasplante), con rangos de temperatura de 15 °C y 18° C, con temperatura máximas de 21°C - 24 °C y mínima de 7° C, ligeramente tolerante a la acidez, con un pH de 6,8 a 6,0, utiliza cantidades de nitrato considerables (100mg/l) ya que su interés comercial está enfocado en la producción de follaje¹⁴.

El sistema acuapónico grow bed es económico y versátil debido a que emplea materiales de fácil obtención y manipulación, con el fin de ser incorporados por familias que estén interesadas en implementar la acuicultura urbana. Prueba de ello son los trabajos realizados por Ramírez et al.¹⁵ (*C. auratus* - *L. sativa*), Ramírez¹⁶ y Riaño¹⁷ (*C. carpio* - *O. vulgare*) cuyas unidades experimentales fueron pequeñas (150 L).

Con estos antecedentes se diseñó una investigación que estuvo dirigida a evaluar el crecimiento de *C. auratus* “goldfish” y la ganancia de peso de *L. sativa* “lechuga” en un sistema acuapónico tipo grow bed en condiciones de invernadero con relación a los parámetros: fisicoquímicos, de calidad de agua y productivos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se acondicionó el área de estudio para el cultivo acuapónico, en un invernadero urbano ubicado, geográficamente a los 8° 5'45,42" S y 79° 0'23,77"O en el distrito de Trujillo, la Libertad (Perú). El invernadero empleado fue de 1,93 x 2,45 x 2,15 m, el cual se construyó, usando malla sombreadora con 30% color blanco.

El sistema acuapónico

Estuvo constituido por cinco componentes: Cubeta de peces, camas de cultivo, bombas sumergibles, aireador y dos sifones. La cubeta de peces constó de un recipiente rectangular de 460 L de capacidad (173 x 60 y 45 cm), forrado con plástico negro de 5 mm de Ø, con un volumen de 420 L de agua declorada. Ésta cubeta contenía dos bombas sumergibles marca SOBO modelo WP-3500 de 1200 L/h de capacidad; éstas mediante un ramal de tubos de PVC de 5/8" Ø, condujeron el agua a las camas de cultivo. Se acondicionaron llaves de control de agua en las camas de cultivo para así graduar el volumen de agua necesario. A la cubeta también se le acondicionó un aireador de dos salidas marca ALEAS modelo AP-3500 de 4 L/min.

Las camas de cultivo estuvieron constituidas por cajones de madera de un área de 2,4 m², las que fueron forradas con plástico negro de 5 mm de Ø y llenadas con 20 cm de grava, previamente lavadas con agua dulce y dejando secar hasta su incorporación. Dentro estas camas, se incluyó un sifón de doble caño, el cual presentaba perlón para capturar sólidos. La tubería de PVC que se colocó en las camas de cultivo al igual que en el tanque de peces, no fueron pegadas, es decir todas las piezas colocadas en el sistemas estuvieron ensambladas únicamente a presión y con cinta teflón, esto con la finalidad de dar mantenimiento al sistema de riego, lo cual se realizó una vez cada mes.

Condiciones experimentales

Se trabajó con 70 ejemplares de *C. auratus* "goldfish" de dos meses de edad, previamente aclimatados; fueron alimentados con Truchina al 42%, tres veces al día (8:00 am, 12:00 pm y 4:00 pm). Se utilizó una tasa de alimentación del 5 % para *C. auratus*. Quincenalmente se realizaron muestreos de peso y longitud, siendo registrados en una ficha y usando un carcal para su captura. Se empleó una balanza digital CAMRY de 0,02 g de sensibilidad para la toma del peso y en cuanto a la toma de la longitud se usó un ictiómetro de 30 cm. Se evaluaron tres cosechas de *L. sativa* "lechuga", a densidades de 12, 15 y 18 plantas; previamente fueron sembradas en depósitos de plásticos de 25 x 12 cm, usando tierra y arenilla. Luego de cinco días, pasaron a un depósito de 80 x 50 cm, sembrándose a una distancia de 5 cm.

Finalmente, cuando las lechugas alcanzaron una longitud de 5 a 7 cm de raíz, se colocaron en las camas, cada 7 cm y luego de una semana en que los peces estuvieron en la cubeta para permitir el flujo de nutrientes y que el nivel de amonio se incremente a 50 mg/l. Se realizó muestreos quincenales del peso de las plántulas.

Parámetros productivos de peces y plántulas

Se determinó las tasas de crecimiento absoluto (TCA) y relativo (TCR), para lo cual se usó las siguientes fórmulas¹⁸:

Tasa de crecimiento absoluto:

$$TCA = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{tiempo final} - \text{tiempo inicial}$$

Tasa de crecimiento relativo:

$$TCR = (\text{Ln peso final} - \text{Ln peso inicial}) / \text{tiempo final} - \text{tiempo inicial}$$

Donde: Ln = Logaritmo natural

Parámetros de calidad del agua

Se registró diariamente datos de temperatura ambiente y temperatura del agua (8:00 am, 12:00 pm y 4:00 pm) usando un termómetro de 1°C de sensibilidad; asimismo semanalmente se tomó información referente a pH empleándose un pHmetro marca WATERPROOF. También se realizaron muestreos semanalmente de amonio (NH_4) y amoníaco (NH_3) siendo este último obtenido según los valores del NH_4 y del pH; nitritos (NO_2), nitratos (NO_3) y dureza de carbonatos (KH), a través de kits comerciales SERA.

El procedimiento del Test NH_3 - NH_4 fue el siguiente:

- Aclarar la cubeta varias veces con el agua que se vaya a analizar. Llenar hasta la marca de 10 ml (agua dulce) o hasta los 5 ml (agua salada). Secar la cubeta por la parte exterior.
- Añadir 6 gotas del reactivo 1 y mover la cubeta hasta que el líquido se haya disuelto bien.
- Añadir 6 gotas del reactivo 2 y mover la cubeta del mismo modo.
- Añadir 6 gotas del reactivo 3 y volver a mover la cubeta.
- Transcurridos 5 minutos, comparar los colores. Para esto, colocar el recipiente sobre la escala y con la luz del día, pero sin incidencia directa de los rayos solares, observar el líquido desde arriba.
- Consultar la tabla adyacente, determinar el contenido de amoníaco a partir de la concentración media del amonio y del pH.
- Limpiar antes y después de cada análisis, lavar bien la cubeta con agua de grifo.

El procedimiento del test NO_2 fue el siguiente:

- Aclarar la cubeta varias veces con el agua a comprobar y llenar hasta la marca de 5 ml. Secar la cubeta por la parte exterior.
- Añadir 5 gotas del reactivo 1 y 5 gotas del reactivo 2.
- Agitar la cubeta ligeramente hasta que el líquido esté bien repartido.
- Al cabo de 5 minutos comparar los colores. Para ello, colocar la cubeta sobre la escala y observar desde arriba con luz diurna y sin luz solar directa.
- Limpiar antes y después de cada test la cubeta, a fondo con agua de grifo.
- El procedimiento del test NO_3 fue el siguiente:
- Aclarar la cubeta varias veces con el agua a comprobar y llenar hasta la marca de 10 ml. Secar la cubeta por la parte exterior.
- Aplicar 6 gotas del reactivo 1 y agitar la cubeta ligeramente hasta que el líquido este bien repartido.
- Aplicar 6 gotas del reactivo 2 y agitar la cubeta ligeramente hasta que el líquido este bien repartido.
- Usar la cuchara dosificadora (roja), añadir a la cubeta una cucharada rasa del reactivo 3.
- Cerrar la cubeta con la tapa y agitar con fuerza exactamente durante 15 segundos.
- Abrir la cubeta y añadir 6 gotas del reactivo 4. Agitar la cubeta ligeramente hasta que el líquido este bien distribuido.
- Al cabo de 5 minutos comparar los colores. Para ello, colocar la cubeta sobre la escala. Observar desde arriba con luz diurna y sin luz solar directa.
- Limpiar antes y después de cada test, la cubeta y la tapa a fondo con agua de grifo.

EL procedimiento para KH fue el siguiente:

- Enjuagar varias veces la cubeta con el agua que se va a comprobar y llenar hasta la marca de 5 ml. Secar la cubeta por fuera.
- Añadir el reactivo gota a gota. Agitar después de cada gota, hasta que el color cambie de azul, verde y luego a amarillo.
- El número de gotas empleados corresponde a la dureza de carbonatos que haya; lavar la cubeta con agua de grifo.

Asimismo se realizó un balance de masas del sistema acuapónico grow bed con la finalidad de ver si el flujo utilizado sirvió para remover las sustancias tóxicas.

Análisis de datos

Una vez que se recopiló la información (peso y longitud) en fichas, estas fueron introducidas en una hoja electrónica en el programa Microsoft Excel 2010. Con ello se realizaron análisis de varianza con el fin de determinar diferencias significativas en el crecimiento de *Lactuca sativa* “lechuga” en el sistema grow bed.

RESULTADOS

El peso inicial promedio de *C. auratus* fue de 2,53 g y a los 178 días de crianza de 4,95 g (Fig. 1). Asimismo, la longitud promedio inicial fue de 4,42 cm promedio y la final de 6,54 cm (Fig. 2). Se obtuvo mayor crecimiento a partir de septiembre.

Con respecto a las plántulas de lechuga, las del primer experimento (12 plántulas por cama, en un tiempo de dos meses y medio) alcanzaron un peso promedio de 62,09 g en la primera cama y 63,34 g en la segunda cama (Fig. 3).

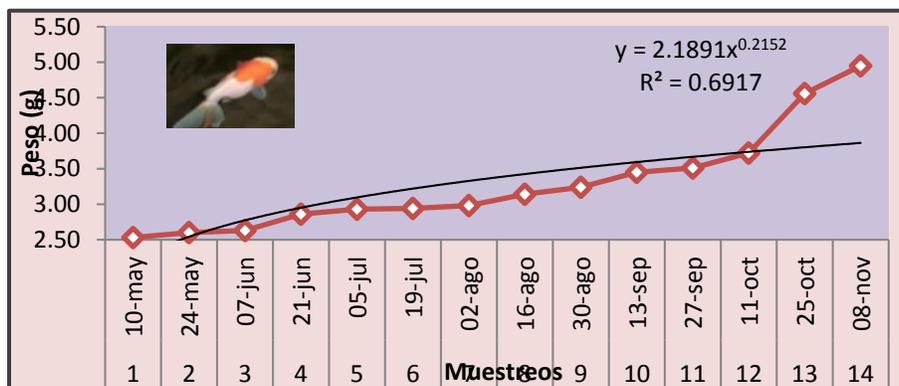


Fig. 1. Peso promedio (g) quincenal de *Carassius auratus* “goldfish” en sistema acuapónico grow bed (◇).

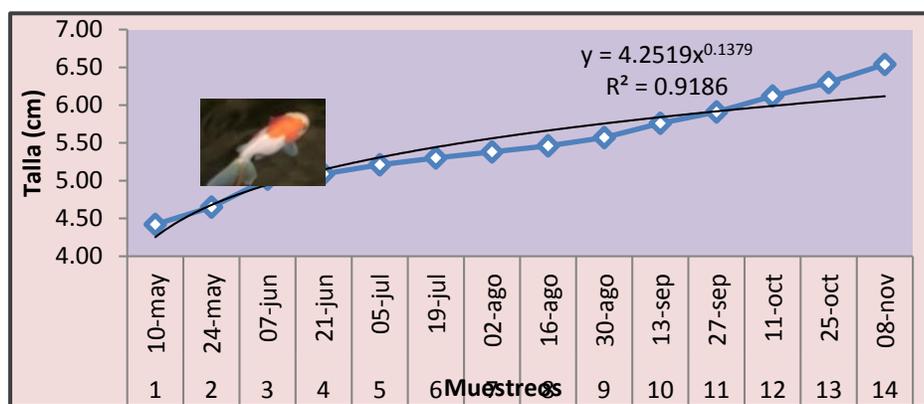


Fig. 2. Longitud promedio (cm) quincenal de *Carassius auratus* “goldfish” en sistema acuapónico grow bed (◇).



Fig. 3. Peso promedio (g) de *Lactuca sativa* a una densidad de 12 plantas por cama (Cama 1: ◇, Cama 2: ◻).

El segundo experimento estuvo conformado por 15 plántulas por cama, en promedio de un tiempo de dos meses, en donde las plántulas de la primera cama obtuvieron un peso 94,88 g y la segunda cama de 110,44 g (Fig. 4).

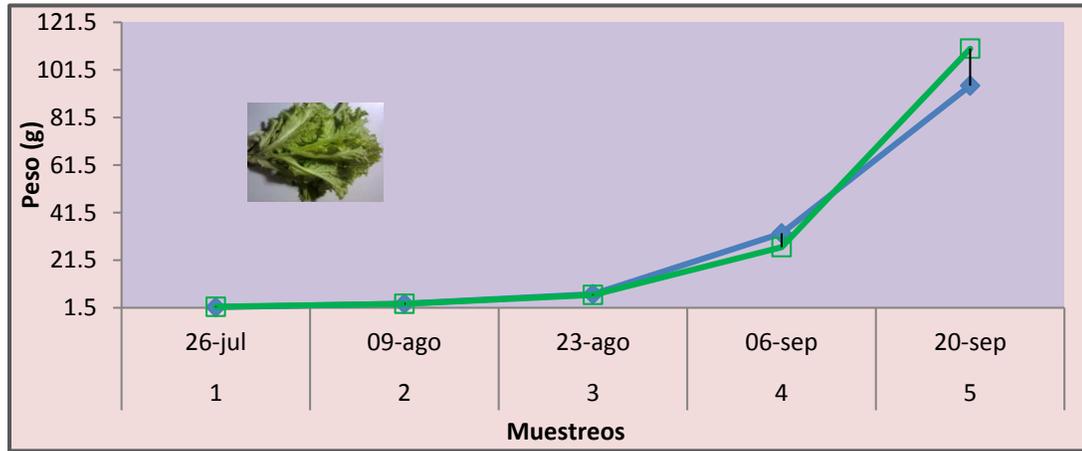


Fig. 4. Peso promedio (g) de *Lactuca sativa* a una densidad de 15 plantas por cama (Cama 1: \diamond , Cama 2: \square).

El tercer experimento estuvo comprendido por 18 plántulas por cama, en un tiempo de dos meses, en donde las plántulas de la primera cama obtuvieron un peso promedio de 92,96 g y la segunda cama de 102,46 g promedio. El crecimiento de las plántulas de la tercera cosecha tuvo el mismo tiempo y valores similares que la segunda cosecha (Fig. 5).

Teniendo en cuenta los parámetros productivos, para los peces, la tasa de crecimiento absoluto (TCA) fue de 0,014 g/día, mientras que la tasa de crecimiento relativo fue de 0,004 %/día. Asimismo se muestra que las tasas de crecimiento absoluto y relativo durante los tres experimentos para las lechugas, fue mayor en la cama 2 (Tabla 1).

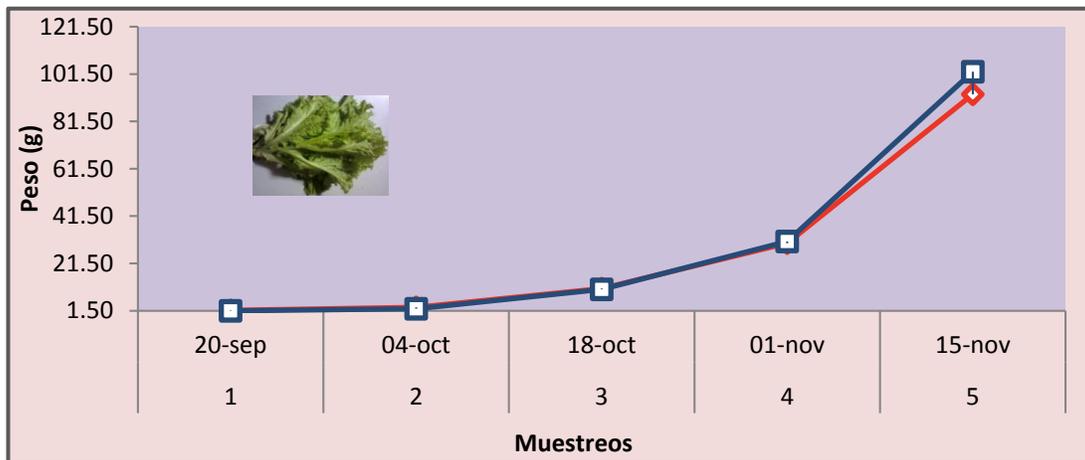


Fig. 5. Peso promedio (g) de *Lactuca sativa* a una densidad de 18 plantas por cama (Cama 1: \diamond , Cama 2: \square).

Tabla 1. Parámetros productivos para *Lactuca sativa* “lechuga” en sistema acuapónico. (El análisis de varianza de una vía (ANOVA) no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las réplicas o camas de cultivo)

Plantas	Cama 1		Cama 2	
	TCA (g/día)	TCR (%/día)	TCA (g/día)	TCR (%/día)
Experimento 1	0,81	0,045	0,83	0,047
Experimento 2	1,58	0,068	1,84	0,069
Experimento 3	1,55	0,068	1,71	0,071

En el sistema acuapónico grow bed, las lechugas ubicadas en las camas de cultivo fueron ingresadas cuando estas tenían de 5-7 cm de raíz y se trabajaron a densidades de 12, 15 y 18 lechugas/m²; cuando estas tenían un mes de cultivo podemos notar que el crecimiento no era aún notable, indicando que aún se encontraban adaptándose al sistema. A los dos meses de cultivo, se aprecia que las lechugas ya presentaban en su mayoría, 8 hojas frondosas; las cosechas se realizaron en un tiempo de 2 a 2 meses y medio, y teniendo en cuenta factores, como que el tallo en las lechugas presentara un diámetro de 2 cm, y al área foliar tuviera de 10 a más hojas frondosas (Fig. 6).

Con relación a los parámetros fisicoquímicos durante la investigación, los valores de temperatura ambiente oscilaron entre 18 a 24 °C y temperatura del agua presentó valores de 16 a 23 °C, siendo los meses de junio a agosto, los meses más fríos e influyentes en el crecimiento (Fig. 7).

Los valores de pH presentaron oscilaciones, pero por lo general fue de 7,8 a diferencia de las dos primeras semanas, en que tuvieron valores de 7,4 y 7,6 y a la presencia de picos de 8 en los meses de mayo, julio y octubre. (Fig. 8).

En cuanto a los parámetros de calidad de agua, no se presenciaron valores de nitritos (NO₂) a excepción de la primera semana (0,5 mg/l).

Asimismo los valores de nitrato (NO₃) fueron de 53 mg/l, excepto en el primer muestreo (25 mg/l) y habiéndose producido picos de 80 mg/l en los meses de mayo, julio, septiembre y noviembre (Fig. 8)

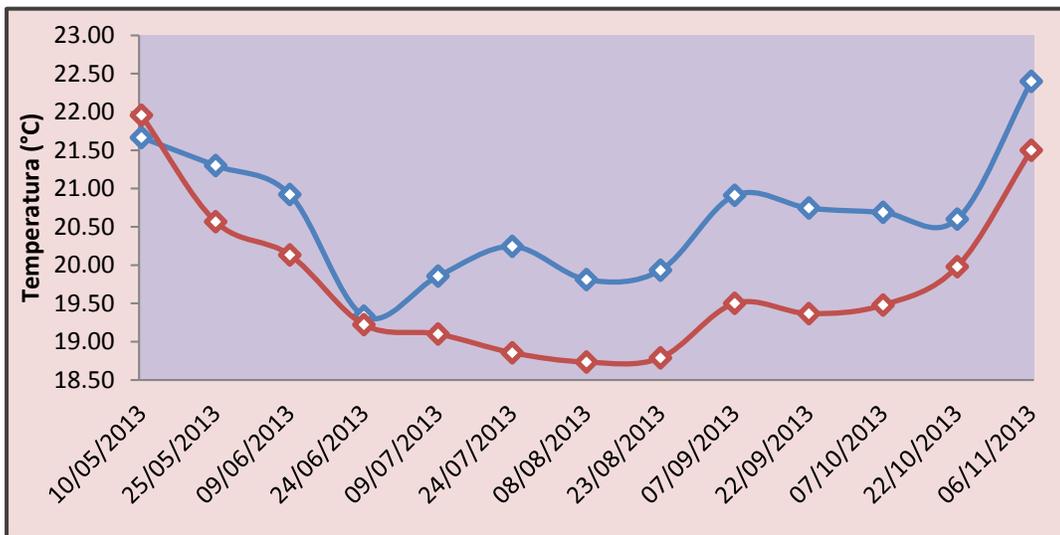


Fig. 6. Variación quincenal de la temperatura ambiental (°C) (◊) y la temperatura del agua (°C) (◊) en el crecimiento de *C. arvensis* y *Lactuca sativa*.

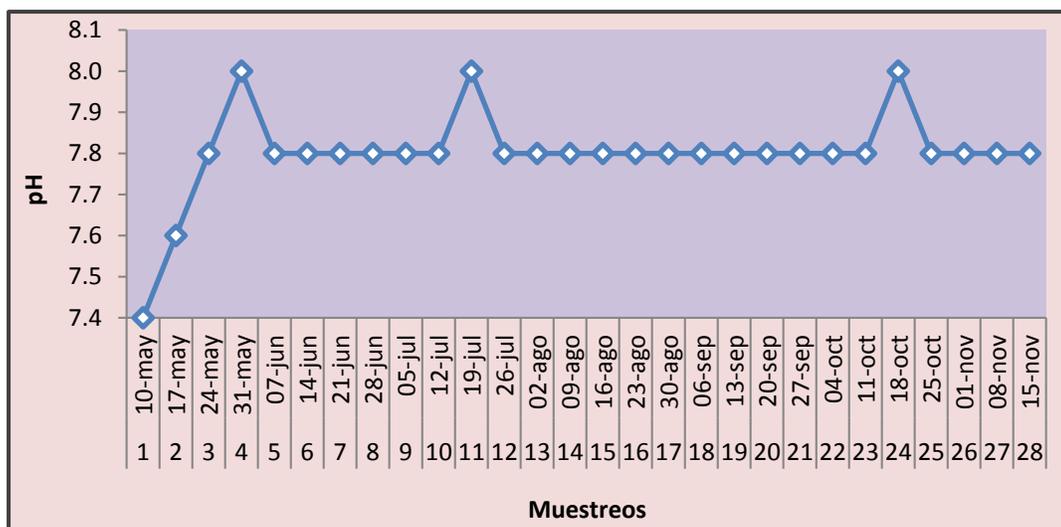


Fig. 7. Variación semanal del pH en la crianza de goldfish, *Carassius auratus*, y lechuga, *Lactuca sativa* (◇).

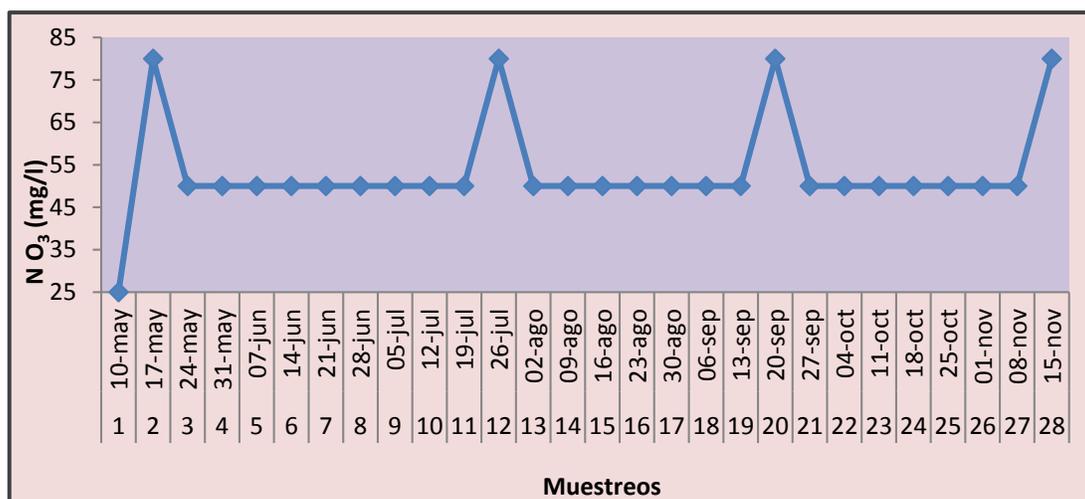


Fig. 8. Cinética semanal del nitrato (NO₃) en sistema acuapónico (◇).

No se presentaron valores de amonio (NH₄) y amoniaco (NH₃), excepto en la primera semana de muestreo (0,5 y 0,009 mg/l respectivamente). Los valores de dureza de carbonatos (KH) fueron de 4 dkh promedio (70 mg/l), teniendo el mayor descenso en el mes de octubre (Fig. 9).

El balance de masas indica que el flujo empleado logró remover las sustancias tóxicas presentes al inicio del cultivo como el amoniaco y nitritos, posteriormente estas desaparecieron con el paso de los días. En el caso de la dureza de carbonatos, está fue menor al final del cultivo; el amonio y nitratos, ambos beneficiosos para las plantas, en el caso del primero, desapareció, mientras que el nitrato presentó valores óptimos (Fig. 10).

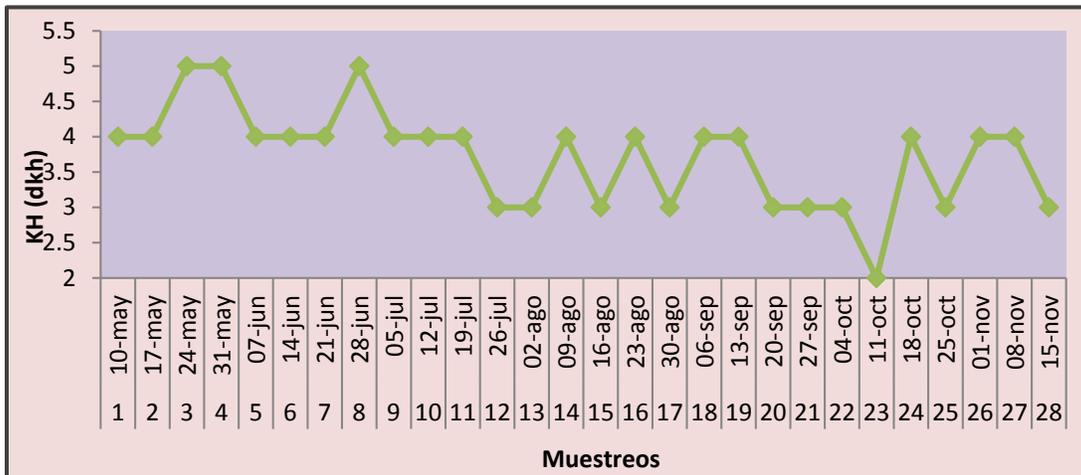


Fig. 9. Cinética semanal de la dureza de carbonato (KH) en sistema acuapónico (◇).

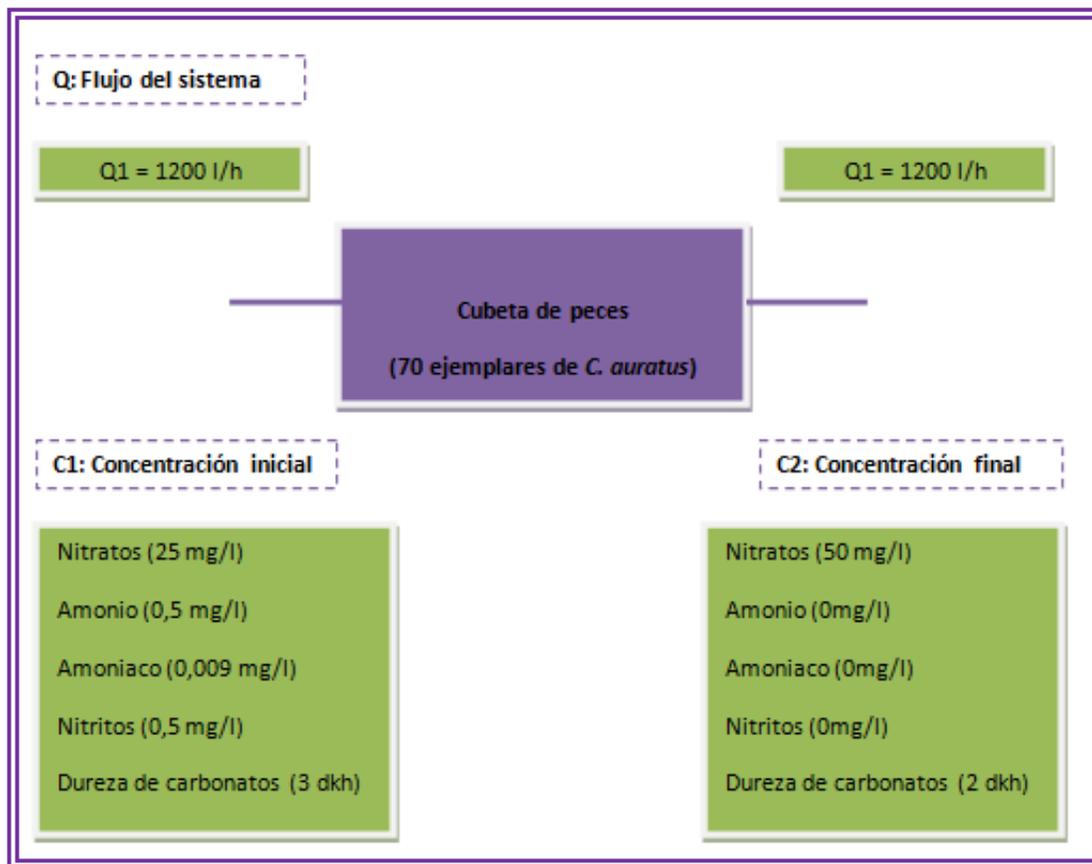


Fig. 10. Balance de masas del sistema acuapónico grow bed.

DISCUSIÓN

El crecimiento de *C. auratus* “goldfish” fue relativamente lento, con valores de 4,95 g y 6,54 cm promedio, comparado con el crecimiento que presenta en un cultivo tradicional, siendo de 5 - 8 g y 7 - 9 cm, en el mismo tiempo al que se desarrolló el cultivo. Sin embargo, en un sistema grow bed, el crecimiento presentado, registra valores relativamente similares, como los de Ramírez et al.¹⁹ empleando dos replicas con 80 ejemplares cada uno (4 y 7 g, 6,9 y 8,8 cm). Asimismo, se obtuvieron valores de 5,81, 6,35 y 8,88 g y 5,34, 6,16 y 5,81 cm de longitud estándar usando tres experimentos con dos réplicas y 330 ejemplares²⁰.

Este menor crecimiento se evidenció con los parámetros productivos de las tasas de crecimiento absoluto y relativo (TCA y TCR) que tuvieron valores de 0,014 g/ día y 0,004 %/día, lo cual coincide con Ramírez et al. (2009) con una TCA de 0,014 y 0,024 g/día y un TCR de 0,004 y 0,005 %/día, mientras que Martínez et al.¹¹, tuvieron valores aún menores, con una TCA de 0,008 y 0,012 g/día y una TCR de 0,003 %/día. Esto pudo estar relacionado al efecto sinérgico de varios factores como los parámetros fisicoquímicos, calidad del agua y la edad de los peces.

Los niveles de pH se mantuvieron dentro de los parámetros tolerables (6,0 - 7,8 para *C. auratus*)¹², el cual dentro del estudio fue de 7,8 promedio, estos resultados difieren de los obtenidos por Skomall²¹ indicando un pH entre 6,5 a 8,5. Asimismo, se ha indicado que los niveles de tolerancia de pH para los peces son de 4,5 a 10,5, siendo una preferencia por los niveles de pH entre 5,5 y 7,0m y que señala que para los peces, el pH adecuado es de 6,5 - 7,0^{22,23}.

Valores óptimos de pH son importantes para mantener un adecuado metabolismo de los peces, los valores bajos de pH causan estrés, variación en niveles de dureza del agua y el apetito disminuye. Cuando este es básico, se produce una rápida transformación del amonio presente en el agua en amoniaco provocando asfixia en los peces. Se sabe que el pH incide significativamente en el comportamiento de las colonias bacterianas responsables de los procesos de nitrificación²⁴.

Durante la nitrificación, no se detectó amoniaco (NH_3) y amonio (NH_4), pero se puede decir que su producción se comportó de acuerdo a lo descrito previamente^{22,24}, comenzando con una alta concentración y disminuyendo con el tiempo, a medida que ocurría el proceso de transformación bacteriana. Los niveles altos de pH pueden haber influido en la ausencia de picos de amonio, ya que en esas condiciones las bacterias cumplen adecuadamente su función nitrificante; en el agua, el amonio se encuentra en dos formas: una no-ionizada denominada amoniaco (NH_3) que es altamente tóxica para los peces y una ionizada llamada amonio (NH_4) que es menos tóxica llamándose ambas amonio total (TAN) estando sujeto su equilibrio al pH y la temperatura, presentando más toxicidad la forma no ionizada (NH_3): no se encuentran bien definidos los efectos sub-letales del amoniaco; concentraciones bajas desde 0,02 a 0,07 mg/l han demostrado reducir el crecimiento y provocar daños en los tejidos branquiales en especies de aguas cálidas^{25,26}.

Oncorhynchus mykiss “trucha arcoiris”, sólo puede tolerar pequeñas concentraciones de este gas (de 0,03 a 0,05 mg/l de NH_3); ésta concentración por varios días, puede ocasionar daños severos y aun la muerte de los organismos; asimismo, *Oreochromis niloticus* “tilapia del Nilo”, puede tolerar niveles que van desde 1,1 a 4,1 mg/l de NH_3 durante largos periodos de tiempo (hasta 96 horas), mostrando una mortalidad del 50%; en esta especie también se ha encontrado que la sensibilidad varía de acuerdo al tamaño de los peces y a la temperatura del agua²⁷.

No se detectó valores de nitritos durante la investigación, indicando que en el sistema empleado se producía la conversión nitritos - nitratos. Sin embargo, Smartt y Bundell¹² reportan para *C. auratus* niveles adecuados de 0 a 0,8 mg/l. Estos niveles permiten un mejor comportamiento en la cinética del crecimiento en términos de peso y longitud de *C. auratus*. Sin embargo, se ha señalado que concentraciones de 0,5 mg/l son estresantes para el channel catfish (*Ictalurus punctatus*), mientras que concentraciones de 5 mg/l parecen causar un ligero estrés en el caso de la tilapia²⁶.

Las concentraciones altas de nitritos se pueden observar cuando el sistema se está estabilizando (primeras semanas), después de esto las condiciones biológicas del sistema permiten regular los niveles de

nitritos, pero, el exceso de nitritos es un problema importante en los sistemas de recirculación debido a que estos se fijan en las moléculas de hemoglobina de los peces inhibiendo el transporte de oxígeno en la sangre. Se considera que una concentración superior a 0,3 mg/l puede ser perjudicial para los peces²⁸.

Buttner²⁹ manifiesta que el nitrato en un sistema parte de una cantidad nula y con el paso del tiempo se va acumulando hasta obtener una concentración constante. Esto permite afirmar que las bacterias trabajaron correctamente en ese proceso bioquímico. Adicionalmente sugiere que las plantas están utilizando dicho nitrato, pues el nivel no se incrementó más de 80 mg/l.

La dureza de carbonatos presentó valores de 4 dH (70 mg/l) promedio, siendo similares a los registrados previamente³⁰, concentraciones entre 0 y 7 dH para *Piaractus mesopotamicus*, mientras para los goldfish debe tener un KH de 5 a 10 dH, permitiendo que se mantenga estable el pH. Se ha indicado que la regulación de los valores de KH depende en gran medida de las variaciones del pH y el CO₂ presentes en el agua y se puede controlar con recambios de agua si los valores son muy altos (200 a 400 ppm) o con adición de sales si los niveles son muy bajos³¹.

Con relación a la temperatura ambiente presentó valores de 20,60 °C promedio, mientras que la temperatura del agua fue de 19,74°C promedio, siendo ésta última diferente a los mencionado Ikenoue y Kafuku³² ya que indican que los goldfish soportan temperaturas de 0 a 35°C, siendo su óptimo de crecimiento a 20 - 28 °C; este hecho puede explicar en parte el bajo crecimiento en peso y longitud registrado por los peces, al disminuir el metabolismo. el efecto de la temperatura en el crecimiento de peces ha sido ampliamente documentado; Fonds et al.³³ para *Paralichthys olivaceus*, demuestra que la temperatura del agua afecta la temperatura corporal, la ingesta de alimento, la tasa de crecimiento y el factor de conversión alimenticia entre otros procesos fisiológicos del organismo.

Debido a los escasos estudios científicos para el cultivo acuapónico de goldfish y lechuga, fue difícil tener conocimientos sobre los parámetros productivos; sin embargo, en la investigación la TCA y TCR para las lechugas fue mayor en la segunda cosecha (1,58 y 1,84 g/día; 0,068 y 0,069 %/día para ambas camas) asimismo se obtuvo el mayor crecimiento en peso registrándose valores de 94,88 g para la primer cama y la segunda cama de 110,44 g. Estos valores son diferentes a los expuestos por Cifuentes y Torres²⁰ empleando orégano (0,53 g/día máximo y 0,032 %/día respectivamente) al igual que Riaño¹⁷. Aunque al realizar el análisis de varianza (ANAVA), reflejó que no existieron diferencias significativas entre las camas de cultivo durante los tres experimentos, únicamente hubo diferencia pero entre los pesos presentados por las lechugas.

Si bien es cierto, las lechugas acuapónicas tuvieron un crecimiento menor a las lechugas hidropónicas, sin embargo, estas crecieron mejor que lechugas cultivadas en suelo: pesos de 92,08 g y 199.8 g en 72 días en variedad Batavia; además en el cultivo con sustrato se puede realizar siete ciclos de cultivo comparado con el cultivo en suelo donde se puede hacer solo cinco ciclos, siendo algunos seguidos³⁴. Cabe recalcar que las condiciones ambientales y la maduración del sistema, influyó en obtener un mejor crecimiento para las lechugas.

Asimismo este crecimiento probablemente estuvo afectado por la disponibilidad de nutrientes y su interacción con el pH. En los sistemas acuapónicos se recomienda mantener el pH entre 6,5 - 7,0, puesto que los requerimientos de los tres organismos son diferentes (peces, plantas y bacterias) y deben ser balanceados. Para los peces el pH adecuado es de 6,0 - 7,5, mientras que para las plantas es de 6,5 - 7,0 y para las bacterias es de 7,0 - 9,0. Cabe aclarar que estos valores pueden variar de acuerdo a las especies trabajadas afectando el comportamiento del sistema⁷.

El pH es un parámetro de calidad de agua determinante para la absorción de varios nutrientes por parte de la planta, el óptimo rango de pH donde se obtiene la mayor absorción de los macronutrientes N, P y K ocurre entre 5 a 6 y para sistemas hidropónicos entre 5,5 a 6,5². Por lo anterior se puede inferir que los sistemas acuapónicos no estuvieron entre los rangos recomendados para permitir la mayor absorción de nutrientes.

Con respecto al diseño del sistema, este se hizo de acuerdo al estudio de Ramírez et al.¹⁹ empleando una densidad de 80 peces en 480 L, mediante un sistema de balsas flotantes; por lo que en el presente estudio se empleó una densidad de 70 peces en 420 L, con la diferencia que se utilizó camas de cultivo con sustrato (grava) como biofiltro. Cifuentes y Torres²⁰ en su investigación emplearon 330 peces goldfish en 1000 L, lo que indica una menor cantidad de litros de agua por cada pez y usando camas flotantes.

En cuanto a la proporción de las lechugas en el sistema acuapónico, fue de 12 lechugas en el primer experimento, 15 y 18 por m² respectivamente, empleando sustrato (grava), lo cual difiere del trabajo previo¹⁹ que trabajaron en sistema de balsas flotantes, usando 2 láminas de icopor de 70 x 58 x 2 cm a la cual se le realizaron 16 agujeros, a una distancia de 15 cm entre cada uno.

Según lo reportado por Rakocy⁷ los nutrientes necesarios para la producción de *Oreochromis niloticus* – *L. sativa*/m² son suministrados con 60 g de alimento ofrecido para vegetales sin fruto en sistemas de cama flotante, la Universidad de Hawai'i (2004) proporciona de 15 a 40 g de alimento diario para la relación entre estos dos organismos, mientras que en Endut et al.³⁵ reportan de 15 - 42 g de concentrado para sistemas de *C. gariepinus* - *L. sativa*. Esto depende de las densidades empleadas en el estudio así como del tipo de alimento suministrado, pero principalmente de la especie a investigar.

CONCLUSIONES

- El crecimiento de *C. auratus* en sistema acuapónico grow bed fue de 4,95 g y 6,54 cm. Asimismo el crecimiento de *L. sativa* a una densidad de 12 lechugas/m² fue de 62,09 g y 63,34 g, a una densidad de 15 lechugas/m², 94, 88 g y 110,44 g y de 92,96 g y 102,46 g a una densidad de 18 lechugas/m².
- En cuanto a los parámetros productivos para los peces, fueron de 0,014 g/día y 0,004 % /día y con respecto a las lechugas, las TCA y TCR ligeramente mayor para la cama 2 de cultivo en los tres experimentos (0,83, 1,84 y 1,71 g/día y 0,047, 0,069 y 0,071 %/día respectivamente) a diferencia de la cama 1 de cultivo (0,81, 1,58 y 1,55 g/día y 0,045, 0,068 %/día).
- La temperatura ambiente y del agua fue menor a las requeridas por los goldfish a diferencia de las lechugas. Del mismo modo, no se detectó presencia de amonio, amoniaco y nitritos, sin embargo, los valores de dureza de carbonato fueron menores a los requeridos. Los valores de nitrato se encontraron dentro de los óptimos para el cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rakocy J. Aquaponics: integrating fish and plant culture. Virgin Island - USA. 2007; 1-850.
2. Rakocy J, Charlie R, Bailey D, Thoman E. Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a bath and staggered cropping system. University of the Virgin Island, USA. 2004; 1 - 8.
3. Diver S. Aquaponics: integration of hydroponics with aquaculture. Australia. 2006; 1-28.
4. Ramírez D, Jiménez P, Hurtado H. La Acuaponía: Una alternativa orientada al desarrollo sostenible. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. Colombia 2008; 4(1): 32-51.
5. Diver S. Aquaponics - Integration of hydroponics with aquaculture. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA). 2000; 1-11.
6. McMurtry M, Sanders D, Cure J, Hodson R, et al. Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. J World Aquacul Soc 1997; 28: 420-428.
7. Rakocy J. Aquaponics: Integrating Fish and Plant Culture. California. 2010; 1-78.
8. Ostrow M. Goldfish: everything about aquariums, varieties, care, nutrition, diseases, and more. México, DF: Edit Barron's. 2003.
9. Vázquez T, Maldonado C, Marañón S, Espina S. Estrés producido por concentraciones terapéuticas de sulfato de cobre en *Carassius auratus* (Pisces, Cyprinidae). Universidad Autónoma Metropolitana. D.F. - México. 2005; 1-55.
10. Chuquipiondo C. Alternativas de producción de peces ornamentales en la Amazonía Peruana. Iquitos - Perú. 2009; 1-5
11. Martínez O, Gómez E, Hurtado H. Levante de Goldfish (*Carassius auratus*) en sistema de recirculación cerrada. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá - Colombia. 2011; 1-350.
12. Adler P, Harper J, Wade E, Takeda F, et al. Economic Analysis of an Aquaponic System for the Integrated Production of Rainbow Trout and Plants. Int J Recirculat Aquac 2000; 1: 10-13.
13. Rakocy J, Losordo T, Masser M. Recirculating aquaculture tank production systems: integrating fish and plant culture. 1992; 454: 1 - 8.
14. Alvarado D, Chávez F, Wilhemina K. Lechugas hidropónicas: Seminario de Agro Negocios. Universidad del Pacífico. Facultad de Administración y Contabilidad Lima- Perú. 2001; 1-8.

15. Ramírez D, Sabogal D, Hurtado H. Estudio del Crecimiento de Goldfish (*C. auratus*) y en la Lechuga (*L. sativa*) en un Sistema Acuapónico Bajo Condiciones de Invernadero. Rev Med Vet Zoot 2007; (54): 166-167.
16. Ramírez L. Evaluación preliminar de un sistema acuapónico para el cultivo de orégano (*Origanum vulgare*; familia: Lamiaceae) y carpa común (*Cyprinus carpio*; familia: Cyprinidae) bajo invernadero en Cajicá - Cundinamarca. Tesis de Pregrado. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá - Colombia. 2011; 1-18.
17. Riaño E. Evaluación de un sistema acuapónico utilizando un sustrato en malla para la producción de orégano (*Origanum vulgare*) - carpa (*Cyprinus carpio*). Proyecto de Iniciación Científica. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá - Colombia. 2010; 1-15.
18. Nelson R. Aquaponic food production: Growing fish and vegetables for food and profit. Virgin Island - USA. 2008; 1-28.
19. Ramírez D, Sabogal D, Gómez E, Rodríguez D, Hurtado H. Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico Goldfish - Lechuga. Universidad Militar de Nueva Granada. Rev Fac Cien Biol 2009; 5(1): 154-170.
20. Cifuentes M, Torres A. Evaluación del crecimiento de goldfish (*Carassius auratus*), carpa (*Cyprinus carpio*) y orégano (*Origanum vulgare*) en un Sistema Acuapónico. Cajica - Colombia. 2012; 1-81.
21. Skomal G. Goldfish: Your happy healthy pet. 2da ed. USA: Edit Barron's. 1996; 1-80.
22. Lorenzoni M, Corboli M, Ghetti L, Pedicillo G, Carosi A. Growth and reproduction of the goldfish *Carassius auratus*: a case study from Italy. 2007; 1-315.
23. Olufeagba S, Ladu B, Ayanda J, Ashonibare B. Investment feasibility in gold fish *Carassius auratus*. Proc Fish Soc Nigeria 2004; 1-288.
24. Timmons M, Ebeling J, Wheaton F, Summerfelt S, Vinvi B. Recirculation aquaculture system. 2nd ed. UK: Elsevier 2002; 1-35.
25. Losordo M. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. California, USA: SRAC Publication 1998; 1-48.
26. Masser P, Rakocy J, Losordo T. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. Management of Recirculating Systems. Southern Regional Aquaculture Center 1999; (452): 5 - 7.
27. Abdalla A, McNabb C, Batterson T. Ammonia dynamic in fertilized fish ponds stocked with Nile Tilapia: The progressive fish 1996; 58: 117-123.
28. Turnbull R, Timmons M. Use of biological filters in recirculating aquaculture systems. Bull 463. Department of Agriculture and Biological Engineering. Cornell University. New York – USA 1993; 1-8.
29. Buttner J. System Set-up and conditioning. En Recirculating Aquaculture Set-up Chronological Assistance Letters. Boston 2000; 1-100.
30. Domínguez O, Martínez D. Desempeño de los sistemas acuícolas de recirculación en el cultivo intensivo del Pacú *Piaractus mesopotamicus* (Characiformes: Characidae). Rev Biol Trop 2011; 60(1): 381-391.
31. Krause J, Kuzan D, DeFrank M, Mendez R, et al. Design Guide for Recirculating Aquaculture System. Rowan University 2006; 1-78.
32. Ikenoue H, Kafuku T. Modern method of aquaculture in Japan. Tokio 1992; 1-120.
33. Fonds M, Tanaka M, Van Der H. Feeding and growth of juvenile japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in relation to temperature and food supply. Netherl J Sea Res 1995; 34: 111-118.
34. Sádaba S, Del Castillo J, Amaya M, Aguado G. Cultivo hidropónico de lechuga. Sistemas de cultivo de lechuga "Batavia" de invernadero en Navarra. España 2010; 1-10.
35. Endut A, Jusoh A, Wan N, Hassan A. A Study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. J Bioresour 2010; 101: 1511-1517.