



Determinación de la simbiosis de tres densidades de cultivo de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y cuatro variedades de lechugas (*Lactuca sativa*), instalados en sistema acuapónico con tecnología de recirculación de agua, distrito Corosha, Amazonas

Determination of the symbiosis of three cultivation densities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and four varieties of lettuces (*Lactuca sativa*), installed in an aquaponic system with water recirculation technology, Corosha district, Amazonas

Jhoel Carranza Goicochea¹, Sandi B. Oliva Bacalla^{1,2*}, José M. Oliva Valle¹, Segundo Y. Rimachi Pinedo¹, José D. Diaz Bernal¹

RESUMEN

Esta investigación se realizó con la finalidad de adaptar un sistema acuapónico integrado para el cultivo de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y lechugas (*Lactuca sativa*) con tecnología de recirculación de agua y energía solar, en Beirut, distrito de Corosha, región Amazonas. Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con un arreglo factorial (3A x 4B), donde el factor A fueron las densidades de siembra (15, 20 y 25 kg de trucha/m³) y el factor B fueron las variedades de lechuga (Maravilla de invierno, Cuatro estaciones, Seda y Tropicana). Se definieron 12 tratamientos con dos repeticiones más un tratamiento testigo en cada factor. Los ensayos fueron monitoreados durante cuatro meses desde la etapa pre adulto de truchas hasta la etapa comercial (siete meses). En los estanques se registraron diariamente el oxígeno disuelto (OD), T^a, niveles de amonio, nitritos y nitratos semanalmente. Se registró la mortalidad de las truchas y el crecimiento de peces. En los módulos hidropónicos se midió el crecimiento foliar de las variedades de lechugas y los niveles de amonio. En los resultados de niveles de OD cada uno de los estanques estuvieron dentro del rango apropiado que se requiere para este tipo de cultivo. Lo mismo sucedió en los niveles de temperatura, amoniaco, nitrato, nitrito y en la evaluación de las plantas de lechuga. Los tratamientos T4, T6 y T10 registraron los más altos niveles de crecimiento de hojas, raíz, ancho de hoja, número de hojas por planta y peso de planta en madurez comercial.

Palabras claves: sistema acuapónico, cultivo de truchas, recirculación, siembra de trucha, módulos hidropónicos.

ABSTRACT

This research was carried out with the purpose of adapting an integrated aquaponic system for the culture of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and lettuce (*Lactuca sativa*) with water recirculation technology and solar energy, in Beirut, Corosha district, Amazon region. A Completely Random Block Design (DBCA) was used, with a factorial arrangement (3A x 4B), where factor A was the stocking densities (15, 20 and 25 kg of trout / m³) and factor B was the lettuce varieties (winter wonder, four seasons, silk and tropicana), 12 treatments were defined with two repetitions plus a control treatment in each factor. The trials were monitored for 4 months from the pre-adult stage of trout to the commercial stage (7 months). In the ponds the DO, T^o, levels of ammonia, nitrites and nitrates were recorded daily, weekly, the mortality of the trout and the growth of fish were recorded. In the hydroponic modules, the foliar growth of the lettuce varieties and the ammonium levels were measured. In the results of dissolved oxygen levels, each of the ponds were within the appropriate range that is required for this type of culture, the same happened in the levels of temperature, ammonia, nitrate, nitrite and in the evaluation of lettuce plants, the treatments T4, T6, T10, registered the highest levels of leaf growth, root, leaf width, number of leaves per plant and plant weight at commercial maturity.

Keywords: aquaponic system, trout farming, recirculation, trout stocking, hydroponic modules.

¹Asociación de Productores Agropecuarios San Isidro el Labrador, Corosha, Perú

²Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura, Lima, Perú

* Autor de correspondencia. E-mail: olivas2795@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

La Asociación de Productores Agropecuarios San Isidro el Labrador se dedica a la producción y comercialización de productos agropecuarios tales como caña de azúcar, panela granulada, ganados bovinos, truchas arcoíris, y gallinas, entre otros (APASIL, 2015). En la presente investigación se realizó la adaptación de la tecnología de recirculación del agua en un sistema acuapónico integrado, como estrategia frente a la disminución del agua de las fuentes naturales que alimentan los estanques del cultivo de truchas reutilizando la energía renovable para el funcionamiento del sistema.

La recirculación acuapónica permite estandarizar los parámetros de calidad del agua para la producción limpia de peces y lechugas saludables (Mario, 2012). La tecnología favorece el aprovechamiento del agua residual de los efluentes para el cultivo de lechugas orgánicas, manejando eficientemente los desechos biológicos generados por las excretas del cultivo de truchas, los cuales constituyen un incremento en los riesgos de mortalidad y proliferación de enfermedades por la presencia de metabolitos y alta concentración de nitrógeno y fósforo.

Según la FAO (2016), las fuentes de agua se han extinguido y otras van disminuyendo su caudal debido al incremento de la tala de bosques y riberas de las propias fuentes de agua. Este problema de escasez del agua viene afectando considerablemente el cultivo de truchas de la asociación APASIL. Actualmente presenta una tasa de mortalidad del 20% por la baja calidad del agua, lo cual se convierte en el principal punto crítico para la sostenibilidad del cultivo de truchas. Como alternativa de solución ante este panorama, se viene implementando un sistema de recirculación acuapónica con cultivo integrado de lechugas para la producción ecoeficiente, la sostenibilidad del cultivo de truchas y diversificación productiva.

Según Ramirez *et al.* (2008) la acuaponía es un sistema de producción sostenible de plantas y peces que incluye la acuicultura tradicional, que es la cría de animales acuáticos con cultivo de plantas en agua en un medioambiente simbiótico (integración entre un culti-

vo de peces y uno hidropónico de plantas). Los sistemas acuapónicos son necesarios para reducir los impactos por excesiva carga de nutrientes y disminuirlos en el agua, y son complementarios a los métodos de separación física tales como la sedimentación o filtración, que están limitados en la eliminación de nutrientes. Por ello, la acuaponía se presenta como una de las pocas técnicas disponibles que pueden eliminar componentes de N y P disueltos-generados a través de la acuicultura por medio de las plantas.

La acuicultura es una actividad cada vez más importante en la producción mundial de peces, pero presenta problemas de sustentabilidad debido al tratamiento de las aguas residuales ricas en nutrientes, que es un subproducto de la acuicultura (Chamorro *et al.*, 2011). El sistema acuapónico integrado de truchas y lechugas ya ha sido desarrollado exitosamente en Chile, en el valle del Elqui, región de Coquimbo. Así, en el año 2012 se ha probado exitosamente la simbiosis entre truchas y hortalizas en un proyecto cofinanciado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) de ese país (AQUA, 2020). Otro desarrollo exitoso de la acuaponía es en Colombia, donde "Acuapónicos la Mariana", un negocio familiar que viene tomando gran posicionamiento en el mercado de Bogotá debido a la calidad de producto que ofrecen a sus clientes, muestra la lechuga cultivada en acuaponía en combinación con truchas, las cuales generan una tecnología innovadora para el aprovechamiento y el uso concientizado del agua que se requiere para este tipo de cultivos (Rico y Reyes, 2019).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó en la comunidad de Beirut, distrito Corosha, provincia Bongará, región Amazonas, entre las coordenadas 5°50'36" de latitud sur y 77°49'20" de longitud oeste (Figura 1). Limita por el norte con el distrito de Yabrasbamba, por el este con la región de San Martín, por el sur con el distrito de Chisquilla, y por el oeste con los distritos de Jumbilla y Florida.

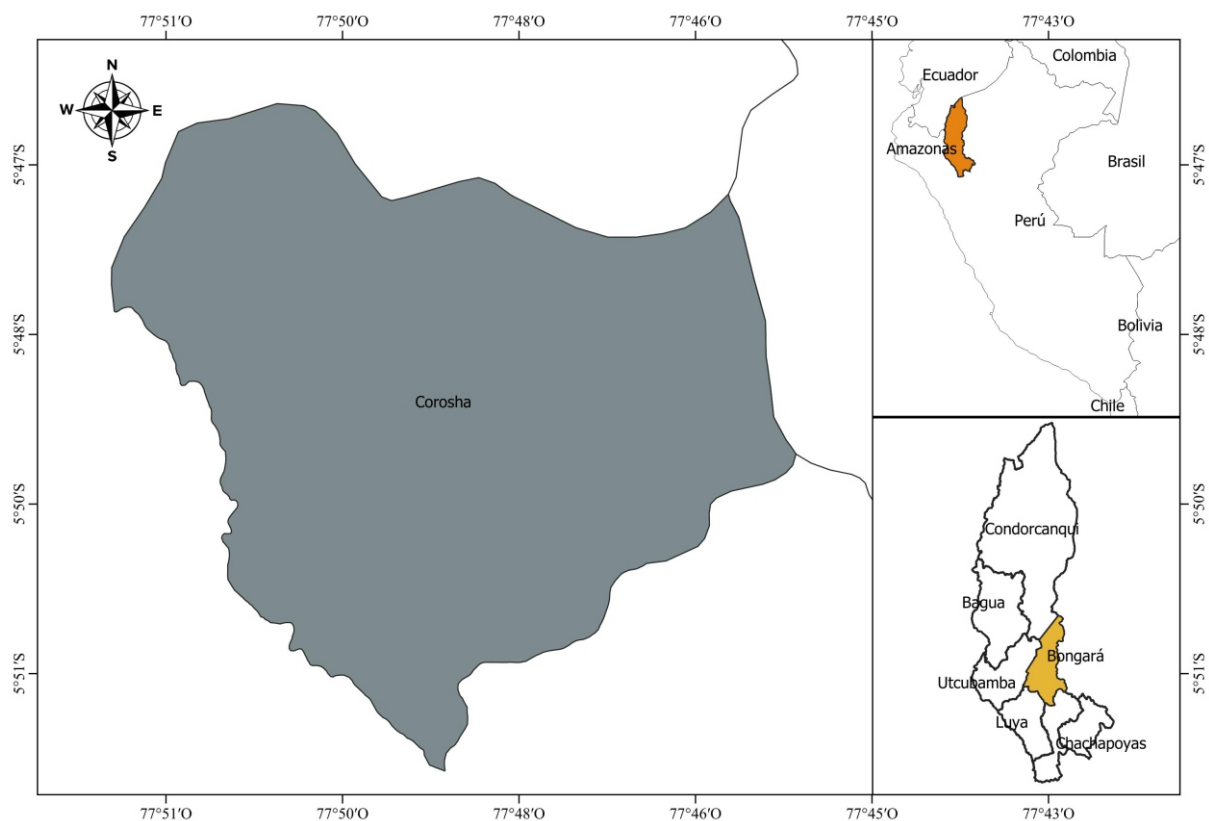


Figura 1. Mapa de ubicación del lugar de estudio en la zona de intervención.

Materiales

Reactivos e insumos

Los reactivos e insumos utilizados en la presente investigación fueron: sal, semilla de lechugas y sustrato.

Equipos y herramientas

Los equipos y herramientas utilizados en la investigación fueron: regla, baldes, escobillas, escobillones, manguera, wincha, láminas de tecnopor, bandejas almacigueras, canastillas, plástico, tubos de PVC, proyector multimedia.

Diseño de la investigación

En este trabajo de investigación se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con arreglo factorial (3AX4B), el factor A: tres densidades de siembra de trucha en etapa pre adulto (15, 20 y 25 kg de trucha/m³) y el factor B: cuatro variedades de lechuga (Maravilla de invierno, Cuatro estaciones, Seda y Tropicana) logrando 12 tratamientos más un testigo.

Metodología aplicada

Acondicionamiento de los estanques para la siembra de truchas

Se realizó una limpieza y desinfección general de todos los estanques con la finalidad de garantizar una producción adecuada y eficiente.

Siembra de truchas arcoiris

Se procedió a la siembra de trucha a diferentes densidades por estanques: primer estanque 15 Kg/m³, segundo estanque 20 Kg/m³, y en el tercer estanque 25 Kg/m³.

Siembra de lechugas en bandejas de germinación

Las semillas de cuatro variedades de lechuga fueron colocadas, una por una, en bandejas almacigueras que contenían sustrato importado. Después se procedió a realizar la rotulación de bandejas y se colocaron todas las bandejas sobre una mesa cubierta de malla raschell. Finalmente, se procedió a hacer el riego de manera continua antes y después de la germinación.

Siembra de lechugas para tratamiento testigo

Se realizó un acondicionamiento de suelo para la siembra de lechuga (variedad Lisa) en sustrato natural del tratamiento testigo, y después se realizó un lavado de suelo para regular el pH y se desinfectó con solución

de agua y formol en una proporción del 5%, para luego realizar la cubierta con plástico durante cinco horas. Una vez cumplido este tiempo se procedió a nivelar el suelo para finalmente realizar la siembra de semillas de lechuga variedad Llista.

Nivelación del área interna de los módulos hidropónicos

Este trabajo consistió en ajustar detalles en la parte interna de los módulos hidropónicos rellenando con arena los espacios vacíos. Después se colocó a cada módulo hidropónico dos capas de plástico con medidas de 4 m de ancho por 10 m de largo y se realizó el acondicionamiento de la tubería que alimentaba a cada uno de los módulos. Posteriormente se cortaron 48 planchas tecnopor con medidas de 1 x 1 m para luego realizar perforaciones cada 25 cm, haciendo un total de 16 orificios por cada plancha de tecnopor. Luego se procedió a la colocación en los módulos, siendo 16 unidades de planchas de tecnopor por cada módulo hidropónico, y cubriendo el total del área interna de los módulos que contienen agua con nutrientes provenientes de los estanques de los peces.

Trasplante de las plantas de lechugas a las camas flotantes

Unos días después de la germinación las plantas de lechuga fueron llevadas a las camas flotantes. Se colocaron 192 plantas de lechuga por cada variedad, siendo un total de 768 plantas trasplantadas a los módulos hidropónicos para el cultivo mediante el sistema de raíz flotante. Finalmente, las plantas de lechuga de tratamiento testigo fueron trasplantadas a suelo definitivo realizando un riego constante de las plantas.

Variables en estudio

Evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los estanques de cultivo de truchas (concentración de oxígeno disuelto, temperatura, niveles de amoníaco, niveles de nitrato, niveles de nitrito, índice de mortalidad, crecimiento).

Evaluación de propiedades físicas, químicas y biológicas de las plantas de lechugas (longitud de hoja en plantas de lechuga, longitud de raíz de plantas de lechuga, peso de planta, ancho de hojas, número de hojas por planta).

Análisis estadístico

Los datos fueron examinados con el programa SPSS versión 23 y Microsoft Excel a un 95% de confianza y 5% de significancia, que determina el mejor tratamiento mediante la prueba Tukey.

III. RESULTADOS

Evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los estanques de cultivo de truchas

Concentración de oxígeno disuelto

La mayor concentración de oxígeno disuelto que se presentó fue de 11,0 y la menor fue de 5,1, siendo muy favorable para el desarrollo de los peces, y mostrando diferencias mínimas en los tres estanques (Figura 1S).

Temperatura

La mayor temperatura que se registró durante los cuatro meses de evaluación fue de 16°C y la menor fue de 10,1 °C; la variación de temperatura es de mínima diferencia entre todos los estanques (Figura 2S).

Niveles de Amoníaco

Los niveles de amonio no ionizado (NH₃) en los estanques se mantuvieron en un rango de 1,00 – 4,01 mg/L en promedio durante la fase experimental, siendo tolerable para la mayoría de los peces y sin producirse mortalidad por la presencia de este (Figura 3S).

Niveles de nitrato

Los nitratos en los estanques fluctuaron entre 15 y 86 mg/L durante el experimento, mostrando diferencias significativas en el estanque 3 (Figura 4S). En este estanque se presentó la mayor concentración de nitratos siendo este de 86 mg/L con respecto a los otros dos estanques en evaluación.

Niveles de nitrito

Los niveles de nitritos en los estanques se mantuvieron entre 0,15 y 5,1 mg/l durante la fase experimental (Figura 5S). Alcanzando su máximo valor en la semana 8, correspondiente a un periodo donde hay mayor predominio de bacterias Nitrosomonas, llamado también “periodo crítico”. Esta elevación de nitritos al inicio de la fase experimental, indica la actividad bacteriana de proceso de nitrificación.

Índice de mortalidad

La mortalidad de peces se rescató en un promedio por semana obteniendo el mayor número de mortalidad durante las primeras semanas (Figura 6S). Esto es debido a la adaptación de los alevines, que luego fue disminuyendo de manera paulatina. El total de mortalidad de peces durante toda la etapa de la investigación registró un 7,1%, siendo más afectado el estanque número 3 debido a que contaba con la mayor densidad de siembra de peces.

Crecimiento

El crecimiento fue de manera proporcional con respecto al tiempo presentando, de cierta manera un crecimiento más estándar en el estanque 3 (Figura 7S).

Evaluación de propiedades físicas, químicas y biológicas de las plantas de lechugas

Longitud de hoja de la lechuga

El mayor crecimiento de hojas se mostró en los tratamientos T4, T6 y T10, siendo estos de 28,5, 28,5 y 31,5, respectivamente (Figura 8S). El más alto de 31,5 cm se encuentra en el T6 tal como se muestra en la siguiente figura.

Longitud de raíz de la lechuga

El mayor crecimiento en lo que respecta a la raíz se registró en el T10 que se encuentra en el módulo hidropónico 2, y condicionando a la densidad de siembra de peces número 2 (Figura 9S).

Peso de planta

En relación al peso promedio de planta de las dos repeticiones que concierne a la investigación, el T10 registra el mayor peso por planta, mientras que el menor peso se registró en el T1, ambos suministrados de las densidades de siembra de peces de los estanques 1 y 2, respectivamente (Figura 10S).

Ancho de hojas

El ancho promedio de las hojas de ambas repeticiones se registró en el T6, mientras que el menor ensanchamiento de hoja se registró en el T12 (Figura 11S).

Número de hojas por planta

El T4 presentó el mayor número de hojas por planta haciendo un promedio de 38 unidades de hojas por cada planta, mientras que el T5 registró menor unidad

de hojas por planta, siendo esta de 31 (Figura 12S).

IV. DISCUSIÓN

La mayor concentración de oxígeno disuelto que se presentó fue de 11 mg/l, y la menor fue de 5,1 mg/l. Según Chamorro *et al.* (2011) los altos niveles de OD se presentan debido a que en el punto de muestreo existe turbulencia que favorece la re-aireación del líquido. Los niveles de amonio no ionizado (NH₃) fueron tolerables para la mayoría de los peces y sin producirse mortalidad. De nuevo, para Chamorro *et al.* (2011), el amoniaco se encuentra en niveles bajos al iniciar un cultivo, cuando la biomasa es todavía baja, pero con el aumento de la biomasa, el nivel del amoniaco es mayor. De igual manera su concentración se eleva con el alimento no consumido por los peces.

Los nitratos en los estanques fluctuaron entre 15 y 86 mg/l durante el experimento, mostrando diferencias significativas en el estanque 3, lo que según la FAO (2014) recomienda mantener los niveles de nitrato entre 5 y 150 mg/l y recambiar el agua cuando los niveles aumentan para una producción de alimentos acuapónicos a pequeña escala. En cuanto a los niveles de nitritos en los estanques se mantuvieron entre 0,15 y 51 mg/l durante la fase experimental. En el estudio de Nelson (2008) se indica que concentraciones de 5 mg/l parecen causar un ligero estrés, o la muerte cuando sobrepasan los 5 mg/l.

La mortalidad de peces se dio durante las primeras semanas. Esto es debido a la adaptación de los alevines, que luego fue disminuyendo de manera paulatina. El total de mortalidad de peces durante toda la etapa de la investigación fue de un 7,1%. Al respecto, según Delgado (2020), la trucha arco iris es la más sensible de las especies a la presencia de amoniaco y sólo puede tolerar pequeñas concentraciones de este gas de 0,03 a 0,05 mg/l. Si persiste esta concentración durante varios días, puede ocasionar daños y una alta tasa de mortandad de peces, y en cuanto al crecimiento fue de manera proporcional con respecto al tiempo, presentando de cierta manera un crecimiento más estándar en el estanque 3. Según Dekovic (2015), para saber las

proyecciones de crecimiento de un determinado lote de peces, es necesario interrelacionar una serie de variables que influyen directamente en el crecimiento del pez, siendo la de mayor importancia la temperatura del agua.

Debe haber ventilación dentro del invernadero ya que el flujo de aire aumenta la transpiración de las plantas. Este aumento en transpiración aumenta el transporte de nutrientes, especialmente calcio, desde las raíces hacia las hojas (Dekovic, 2015). En la figura 9 se observa el crecimiento de las plantas de lechuga, en el cual el mayor crecimiento de hojas se mostró en los tratamientos T4, T6 y T10, con 28,5, 28,5 y 31,5, respectivamente.

El mayor crecimiento en lo que respecta a la raíz se registró en el T10, con 37,5 cm, resultando mayor a los obtenidos por Delgado (2020), que fue de 25 cm. En la figura 11 se observa que el mayor peso de la planta de lechuga fue de 218 g y el menor peso de la planta de lechuga fue de 105 g, lo que difiere a los resultados obtenidos por Delgado (2020), que fueron de 108,32 y 99,94 g. El ancho de las hojas de mayor dimensión lo encontramos en el T6 que fue de 22 cm, con medidas aproximadas al estudio realizado por Delgado (2020), que obtuvo dimensiones de 20 cm ancho y de 15 a 20 cm de longitud. El número de hojas por planta estuvo entre 31 y 38 hojas. Según Barrera (2004), el potasio es importante en la síntesis de proteínas y en el funcionamiento de las estomas de las hojas, condición importante para incrementar la cantidad de hojas.

V. CONCLUSIONES

La densidad de siembra de peces que mejores resultados ha obtenido, es la densidad de siembra número dos (D2), que corresponde a 20 Kg/m³, es decir en este estanque se sembraron 3000 truchas y fue la que mejor respuesta ha tenido para producción acuapónica con sistema RAS.

El índice de mortalidad fue del 7,1% en toda la fase de la investigación, registrando el mayor número de pérdidas durante las primeras semanas. El crecimiento también fue de rango considerado en todos los estan-

ques sin mostrar diferencias altas entre ellos.

De la evaluación de lechugas, la que mejores resultados ha obtenido es de la variedad número tres (V3) que corresponde a la variedad Seda. Esta variedad tuvo mejor crecimiento y desarrollo en comparación con las demás variedades.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda emplear diferentes tipos de especies vegetales para evaluar su capacidad de adaptación, desarrollo y biorremediación, reconociendo aquellas que sean una alternativa viable, que permitan aprovechar los potenciales beneficios del sistema acuapónico y que sean menos demandantes en nutrientes. Además, se recomienda estudiar los aspectos sanitarios de las plantas e implementar un sistema de desinfección UV.

VII. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron en la conceptualización, metodología, investigación, redacción del manuscrito inicial, revisión bibliográfica, y en la revisión y aprobación del manuscrito final.

VIII. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APASIL (Asociación de Productores agropecuarios San Isidro el Labrador). 2015. *Cultivo de productos agrícolas en combinación con la cría de animales (explotación mixta)*. <https://compuempresa.com/info/asociacion-de-productores-agropecuarios-san-isidro-el-labrador-20480062729> (Consultada el 14 de diciembre de 2020)
- AQUA. 2020. *En Chile: Cultivan truchas y hortalizas a través de la reutilización de agua*. <https://www.aqua.cl/2014/12/10/region-de-coquimbo-proyecto-de-acuiponia-cultiva-truchas-y-hortalizas-traves-de-la-reutilizacion-de-agua> (Consultada el 17 de diciembre de 2020)

- Barrera, D. (2004). *Evaluación de cinco variedades de lechuga (Lactuca sativa) cultivadas con la técnica hidropónica solución nutritiva recirculante (NFT)*. Tesis de Grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad de Guatemala (Guatemala).
- Chamorro, E., M. Morillo, E. Burbano, D. Casanova, E. Mejía, E. Pecillo, D. Zamora, G. Angulo, y I. A. Sánchez. (2011). “Diseño, montaje y evaluación preliminar del desempeño de un sistema acuapónico, utilizando lechuga (*Lactuca sativa*) y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en un sistema de recirculación acuícola”. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola* 6 (6): 1-15.
- Dekovic, N. (2015). *Estudio técnico - financiero de la puesta en marcha de un cultivo integrado de trucha arcoíris y lechugas hidropónicas en la región de tarapacá*. Tesis de Maestría. Universidad de Santiago de Chile. Iquique (Chile).
- Delgado, N. (2020). *Aprovechamiento de efluentes provenientes de los sistemas de recirculación acuícola del cultivo de tilapia (*Oreochromis sp.*) en acuaponía*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria Molina. Lima (Perú).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2014). *Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming*. Roma (Italia): FAO.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2016). *Los bosques y el cambio climático en el Perú*. Roma (Italia): FAO.
- Mario, M. (2012). “Sistemas de recirculación acuapónicos”. *Informador Técnico (Colombia)* 76: 123-129. DOI: 10.23850/22565035.36
- Nelson, R. (2008). *Aquaponics food production. Raising fish and profit*. Wisconsin (EEUU): Nelson and Pade.
- Ramirez, D., D. Sabogal, P. Jiménez, y H. Hurtado Giraldo (2008). “La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible”. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 4 (1-2): 32-51. DOI: 10.18359/rfcb.2230
- Rico, R. y J. Reyes. (2019). *Diseño automático para sistema sostenible de acuaponía*. Tesis de Grado. Universidad Santo Tomás. Bogotá (Colombia).