

BIOPROCESO PARA PRODUCCIÓN DEL PEZ TILAPIA (*Oreochromis spp.*) MEDIANTE SISTEMA ACUAPÓNICO: UNA REVISIÓN

Bioprocess for production of tilapia fish (*Oreochromis spp.*) through aquaponics system: A review

Omar Alexander Vargas Barragán¹, Julio Pineda Insuasti², Diego Alejandro Barrigas Revelo¹, Camilo Alejandro Pineda Soto²

¹Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio, Urcuquí, Ecuador

²Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente, Ibarra, Ecuador

Autor para correspondencia: omar.vargas898@ist17dejulio.edu.ec

Recibido: 10 Octubre 2021

Aceptado: 11 Diciembre 2021

RESUMEN

La producción de peces mediante S.A. (sistemas acuapónicos), han tomado relevancia progresivamente, siendo éste un método que permite aprovechar espacios reducidos, además de combinar la acuicultura con la hidroponía en un sistema de recirculación. El presente artículo recopila información sobre el funcionamiento y los factores condicionantes, que intervienen en el bioproceso de producción del pez tilapia (*Oreochromis spp.*).

PALABRAS CLAVE: Acuaponía, hidroponía, proteína, recirculación.

ABSTRACT

The production of fish through aquaponics systems has progressively gained relevance. This is a method that makes it possible to take advantage of reduced spaces and combine aquaculture with hydroponics in a recirculation system. This article compiles information on the functioning and conditioning factors that intervene in the production bioprocess of tilapia fish (*Oreochromis spp.*).

KEYWORDS: Aquaponics, hydroponics, protein, recirculation.

INTRODUCCIÓN

El declive de la biodiversidad marina y sus cambios climáticos son evidentes, presionan sustancialmente las reservas pesqueras, debido al uso insostenible de recursos (Seas At Risk, 2012), perjudicando su auto renovación a dispendios de los ecosistemas (FAO, 2020).

La preservación de la diversidad biológica es un interés de toda la humanidad, hábitats, especies y recursos genéticos, deben ser aprovechados por el ser humano, pero de manera que no lleve a su pérdida (Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2018).

(Pentair, 2013) menciona que, la exigüidad de recursos naturales impulsan a una producción sostenible de alimentos.

Además de la pesca, la acuicultura como método de producción, presenta limitantes, debido a la concentración de materia orgánica en los estanques de cultivo, resultado de las excreciones de peces, alimento y otros insumos (Campos et al., 2013), el consumo de grandes cantidades de agua potable y su descarga con desechos al ambiente, son también consecuencia del aumento en la densidad de siembra y prácticas convencionales (Torres, 2017).

Según Loy (2021), la acuaponía es presentada como una solución, debido a las ventajas sobre los sistemas de producción acuícola y agrícolas convencionales, surgiendo como estrategia para contrarrestar problemas de hambre y sobreexplotación de recursos vitales. Los S.A. viabilizan la reducción de descarga y consumo de agua, permitiendo su reutilización en el bioproceso (Torres, 2017).

Jiménez (2015), describe la acuaponía como un co-cultivo entre peces y plantas en un circuito de recirculación. El agua se enriquece con desechos orgánicos provenientes de los organismos acuáticos, aprovechados por las plantas como fuente nutricional, mientras sus raíces actúan como filtros biológicos, limpiando el agua que recircula (Gómez et al., 2018), al grado de que puede reintegrarse a los sistemas acuáticos (Moreno & Zafra, 2015), haciendo uso de los subproductos de la biomasa, para la obtención de un producto secundario (Jiménez, 2015).

El pez más utilizado en acuaponía según (Gómez et al., 2018), es la tilapia (*Oreochromis spp.*), debido a sus características, como rápido crecimiento, gran producción de desechos orgánicos que se convierten en altos niveles de nitrato, además de su resistencia a fluctuaciones drásticas de calidad del agua (Villegas & Gutiérrez, 2021).

Colorado & Ospina (2019), destaca que la acuaponía se puede implementar en diferentes diseños y escalas que van desde acuarios pequeños hasta sistemas de alta tecnología y grandes volúmenes de producción. La práctica de esta tecnología se constituye en una alternativa viable para la reducción de costos y diversificación productiva de las unidades (Loor & Mendoza, 2018).

Ramírez et al. (2017), menciona que países como Australia y Canadá muestran gran interés en la acuaponía como herramienta biotecnológica, debido a su viabilidad, por lo que su aplicación en países en desarrollo significaría la inmersión en la producción bioeconómica.

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio de revisión exploratorio sobre los sistemas acuapónicos, mediante búsqueda de información científica en bases de datos como Latindex, Scielo y Scopus, que permita identificar las principales ventajas y desventajas de las tecnologías desarrolladas hasta el momento.

METODOLOGÍA

Según Pérez et al. (2015), los equipos implementados en S.A. varían según su tamaño y escala de producción.

El modelo estándar del sistema operativo en acuaponía consta de:

Tanque de cultivo de peces: de material resistente, se recomienda un litro de agua por cada 5 cm de peces o 10-15 g de peces por litro de agua. (Jiménez, 2020), se debe tomar en cuenta el tamaño final estimado de los peces.

Remoción de sólidos o clarificador: separa y remueve desechos sólidos en suspensión (Candarle, 2016)

Filtrado biológico (biofiltro): alberga bacterias nitrificadoras (Jiménez, 2020), poblaciones beneficiosas como nitrosomonas o nitrobacterias (Pérez et al., 2015), que actúan en el proceso de transformación del NAT (nitrógeno amoniacal total) en NO_2^- (nitrito) y NO_3^- (nitrato) (Votteler, 2021). Previo a la inserción de biomasa al sistema (Candarle, 2016) recomienda una maduración del biofiltro de 3 a 5 semanas, para desarrollar y establecer las colonias bacterianas, proporcionándoles fuentes de amonio, y se administra periódicamente en concentraciones $< 2 \text{ mg/l}$, para evitar que sea tóxico para la misma colonia.

El proceso de nitrificación es imprescindible para evitar intoxicación de los peces, debiendo tomarse en cuenta factores importantes, como el área superficial del material de sustrato para adhesión de las bacterias, y óptima calidad del agua, con un pH de 6 a 8,5; temperatura de 17 a 34°C y OD (oxígeno disuelto) $> 4 \text{ mg/L}$, además, el tanque debe permanecer cubierto y ser oscuro debido a la

fotosensibilidad de las bacterias nitrificantes (Votteler, 2021);

Bomba de agua: mantiene la recirculación del agua.

Sistema de oxigenación: sistema compuesto por bomba, tuberías, mangueras y piedras difusoras, que proporcionan aire para la disolución de oxígeno en el sistema, necesario para el óptimo desarrollo de peces, plantas y bacterias (Martínez, 2014).

Sistema de cultivo hidropónico: técnica de cultivo en la que no se utiliza suelo, y los nutrientes que necesita la planta para crecer son provistos a través del agua (Castañares, 2020), permite el desarrollo de cultivos en un ambiente controlado utilizando sustratos inertes, asegurando en mayor porcentaje la producción (Hernández et al., 2021).

Subsistema hidropónico

Según Castañares (2020), los cultivos hidropónicos son técnicas que no necesitan suelo, siendo el agua recirculante la que provea de nutrientes a las plantas, y según (Hernández et al., 2021) permite controlar las condiciones de crecimiento del cultivo, asegurando la calidad de la producción.

Además (Pinheiro et al., 2017), establece que, los compuestos residuales de nitrógeno y fosfato son absorbidos por las plantas, reduciendo los residuos de nutrientes, y evita su desecho al medio ambiente.

Tipos de cultivos hidropónicos.

Sistema de película nutritiva (NFT): sistema en el que las raíces de las plantas tienen contacto con una lámina de solución nutritiva.

(Valdez et al., 2017) señala que esta solución circula por el sistema desde el cultivo acuático a través de un circuito de PVC, con ayuda de una bomba de agua y regresa gracias a la gravedad.

Castañares (2020) ,recomienda que la lámina de solución sea delgada, con un caudal de 1 a 2 litros por minuto.

Sistema de balsa o raíz flotante: en este sistema según indica (Díaz, 2017), las plantas se cultivan en planchas de poliestireno expandido, flotando sobre el agua enriquecida de nutrientes.

Sistema de camas de sustrato: tipo de cultivo en el que las plantas se encuentran en sustrato sólido ajeno al suelo, puede ser natural o sintético. Alguno de los sustratos más usados en sistemas de cultivo sin suelo son: turba rubia, lana de roca, perlita B-12, fibra de coco y tezontle (Intagri, 2017), la tabla 1 expresa las propiedades de cada sustrato en porcentajes.

Dentro del sistema acuapónico descrito por Loor & Mendoza (2018) destaca la incorporación de sifones de campana, con la función de inundar las camas de cultivo y drenar al llenar su capacidad.

Tabla 1. Propiedades físicas de varios sustratos para cultivo.

Propiedad	Turba rubia	Lana de roca	Perlita B12	Fibra de coco	Tezontle 1	Tezontle 2
DA (%)	0,07	0,07	0,14	0,09	0,70	0,68
EPT(%vol)	96	97	86	94	72	71
CA(%vol)	41	36	29	30	35	32
AFD(%vol)	25	59	25	25	21	23
AR(%vol)	6,0	0,3	7,0	8,1	5,5	3,5

Nota: DA (densidad aparente); EPT (espacio poroso total); CA (capacidad de aireación); AFD (agua fácilmente disponible); AR (agua de reserva)

Fuente: Intagri (2017).

Factores condicionantes para la producción de tilapia (*Oreochromis spp.*)

Calidad del agua.

Las condiciones del agua es el factor de mayor atención para un buen funcionamiento en el sistema. De acuerdo con (Loor & Mendoza, 2018), medir frecuentemente parámetros importantes como oxígeno, temperatura, pH, amonio, nitrito y nitrato, permite al productor modificar o mantenerlos a niveles óptimos.

Temperatura.

El rango óptimo para la producción de *Oreochromis* spp. es de 25-32°C, a pesar de que puede sobrevivir a fluctuaciones considerables, cuando la temperatura disminuye a 15°C, los peces dejan de comer, ralentizando su desarrollo, mientras que $\leq 10-11^\circ\text{C}$ o superiores a 42°C causan letalidad (Intagri, 2019).

Oxígeno disuelto.

(Quintanilla et al., 2019) afirma que valores ≥ 5 mg/l, son los óptimos para el desarrollo de cultivos de tilapia.

pH

El rango propicio para cultivo acuapónico de tilapia fluctúa entre 6,5-9,0; y en valores cercanos a 5 causan mortalidad en un tiempo de 3 a 5 horas (Alicorp, 2015).

Amonio

Los niveles de amonio deben fluctuar entre 0,01ppm-0,1ppm, y valores cercanos a 2ppm son críticos. La toxicidad del amonio aumenta a niveles de pH y temperatura elevados del agua (Alicorp, 2015).

Debido a la amplia resistencia del pez tilapia su rango de tolerancia a NAT es entre 0.6 a 2.0 mg.L-1, siendo este último un nivel crítico en condiciones de pH básico (Votteler, 2021).

Nitritos

(Villegas & Gutiérrez, 2021) indica que se debe mantener concentraciones $< 0,1$ mg/l, niveles $> 0,75$ mg/l provocan estrés para los peces y > 5 mg/l provocan toxicidad.

Alimentación de peces

Para un óptimo desarrollo de *Oreochromis* spp., es necesario proporcionarles alimento con porcentaje proteico variable, dependiendo de su peso como lo expresa la tabla 2 o la etapa de desarrollo en la que se encuentren.

(Votteler, 2021) recomienda 30-56% de proteína en alevines, 30-40% para peces en etapa juvenil y 28-30% en la etapa de engorde, previo a la cosecha.

Tabla 2. Requerimiento de proteína para tilapia según su peso.

Rango de peso (gramos)	Nivel óptimo de proteína (%)
Larva de 0,5	40-45%
0,5-10	40-35%
10-30	30-35%
30-250	30-35%
≥ 250	25-30%

Fuente: Alicorp (2015).

Factor de condición de Fulton

Una manera de determinar el “bienestar” del cultivo acuático, es mediante el Factor de condición de Fulton (K), basándose en que los peces de mayor peso a determinada longitud, poseen mejor condición (Cifuentes et al., 2012).

Fórmula del factor de condición:

$$K = 100 (W/L^3)$$

Dónde: W= peso corporal (g), y L= longitud (cm) (Villalobos & González, 2016).

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Los equipos usados en un sistema acuapónico dependen de la escala de producción, autores recomiendan implementar otros dispositivos buscando optimizar el sistema mediante un desgacificador (Ramírez et al., 2017). Por otro lado, Pérez et al. (2015), hace uso de un sumidero o sump, como parte más baja del sistema, siendo el punto de regreso y recirculación del agua, con ayuda de una bomba. Además, con la finalidad de garantizar la seguridad alimentaria (Colorado & Bermúdez, 2019), adicionó un sistema inteligente de monitoreo IoT y dispositivos conectados, como sensores inalámbricos, que dan lectura a los factores condicionantes del sistema.

El sistema de cultivo hidropónico también depende de las necesidades del productor, cada tipo de cultivo se acopla a dichos requerimientos, presentando ventajas y desventajas (Tabla 3).

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los distintos sistemas de cultivo hidropónico.

Sistema	Ventajas	Desventajas
NFT	<ul style="list-style-type: none"> Fácil instalación Expandible Poco mantenimiento 	La concentración de oxígeno y nutrientes se reduce al alejarse del tanque de peces.
Camas flotantes	<ul style="list-style-type: none"> Fácil de operar Apto para sistemas grandes 	Los costos iniciales son altos.
Camas en grava	<ul style="list-style-type: none"> Sirven como filtros biológicos. Dan soporte a las raíces 	<ul style="list-style-type: none"> Las camas pueden taparse y generar ambientes anaerobios Generalmente se usa para sistemas pequeños (acuaponía casera)

Fuente: tabla adaptada de Ramírez et al., (2017).

CONCLUSIONES

La producción de tilapia (*Oreochromis spp.*) mediante S.A., resulta sostenible y sustentable. Tomando en cuenta los distintos factores condicionantes a niveles óptimos, como una temperatura entre 25-32°C, pH de 6,5-9,0; OD mayor a 5 mg/L y las concentraciones de NO₂ y NO₃ fuera de niveles tóxicos.

AGRADECIMIENTO

El aporte del Centro Ecuatoriano de Biotecnología y Ambiente y el Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio, ha sido imprescindible para llevar a cabo la investigación previa a la publicación del artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alicorp. (2015). Manual de Crianza Tilapia. Nicovita.
- Campos, R., López, A., Avalos, D. A., Asiain, A., & Reta, J. L. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 939–950.
- Candarle, P. (2016). Técnicas de Acuaponía. *Cenadac*, 1–47. https://www.academia.edu/download/59872871/160831_Tecnicas_de_Acuaponia20190626-82641-1bngeh9.pdf
- Castañares, L. (2020). Abc De La Hidroponia. In Inta. https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/8023/INTA_DireccionNacional_EEAAMBA_Castanares_JL_ABC_de_la_hidroponia.pdf?sequence=1
- Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortíz, N., Piedra, P., & Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana*, 76(SUPP.1), 101–110. <https://doi.org/10.4067/s0717-65382012000100009>
- Colorado, M., & Bermúdez, F. (2019). Monitoreo acuapónico y tecnología IOT en el CBA. *Revista Siembra CBA*, 1, 83–88. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/Revsiembracba/article/view/2591>
- Colorado, M., & Ospina, M. (2019). Acuaponía, Herramienta de formación en tiempos de paz. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). <https://hdl.handle.net/11404/5555>
- Convenio sobre la Diversidad Biológica. (2018). Iniciativa Océano Sostenible. Decenio de Las Naciones

Unidas Sobre La Biodiversidad, 341–347. www.cbd.int/soi

- Díaz, L. A. (2017). Producción de Cultivo Hidropónico Lechuga (*Lactuca Sativa* L.) para la Promoción de la Autogestión en la Escuela Básica Bolivariana “Los Naranjos.” *Revista Scientific*, 2(4), 204–222. <https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2017.2.4.12.204-222>
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 3, Issues 1–2). <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Gómez, F. C., Ortega, N. E., Trejo, L. I., Sánchez, R., Salazar, E., & Salazar, J. (2018). La Acuaponía: Alternativa Sustentable Y Potencial Para Producción De Alimentos En México. *Agro Productividad*, 8(3), 60–65. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/662>
- Hernández, B. N., Tornero Campante, M. A., Sandoval Castro, E., Rodríguez Mendoza, M. de las N., Taboada Gaytán, O. R., & Peña Olvera, B. V. (2021). Crecimiento, rendimiento y calidad de chile poblano cultivado en hidroponía bajo invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6), 1043–1056. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2755>
- Intagri. (2017). La Hidroponía: Cultivos sin Suelo. *Artículos Técnicos de INTAGRI*, 5. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-prottegida/la-hidroponia-cultivos-sin-suelo>
- INTAGRI. (2019). Requerimientos del Cultivo de Tilapia. *Artículos Técnicos de INTAGRI*, 37, 3. <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/requerimientos-del-cultivo-de-tilapia>
- Jiménez, A. (2015). Acuaponía: Herramienta educativa para el aprendizaje transversal de las ciencias. *Ciencia y Desarrollo*, 16(2), 83–90. <https://doi.org/10.21503/cyd.v16i2.1113>
- Jiménez, O. (2020). Acuaponía: una forma potencial y sustentable de cultivar de manera eficiente y sustentable alimentos. <https://www.eumed.net/actas/20/economia-social/26-acuaponia-una-forma-potencial-y-sustentable-de-cultivar.pdf>
- Loor, G., & Mendoza, R. (2018). Sistema acuapónico a escala piloto con chame (*Domitator latifrons*) lechuga y (*Lactuca sativa*) para producción de alimentos, comunidad Casas Viejas, cantón Bolívar. 100. <http://repositorio.esпам.edu.ec/xmlui/handle/42000/896>
- Loy, E. (2021). Productividad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en asociación con la tilapia bajo un sistema de acuaponía en el cantón Guayaquil, provincia Guayas [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/56167>
- Martínez, R. (2014). La Acuaponía como alternativa de producción agropecuaria sostenible ¿Una posibilidad para tener en casa? *REDICINAYSA*, 2(5), 16–23. <https://doi.org/04-2012-121911503400-203>
- Moreno, E., & Zafra, A. (2015). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *Revista REBIOL*, 34(2), 60–72.
- Pentair. (2013). Partners for a sustainable future. 2. pentairaes.com
- Pérez, M., Téllez, R., Avelino, R., & Tenorio, F. (2015). Sistema Acuapónico. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 2(4), 538–546. www.ecorfan.org/bolivia
- Pinheiro, I., Arantes, R., do Espírito Santo, C. M., do Nascimento Vieira, F., Lapa, K. R., Gonzaga, L. V., Fett, R., Barcelos-Oliveira, J. L., & Seiffert, W. Q. (2017). Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. *Ecological Engineering*, 100, 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.12.024>
- Quintanilla, A., Valle, C. Del, Alfaro, V., Urrutia, R., Vanegas, M., & Reyes, P. (2019). Evaluación de un modelo de Acuaponía en la producción de biomasa de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en El Salvador. [Universidad de El Salvador]. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19029>
- Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., & Giraldo, H. H. (2017). La Acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 4(1–2), 32–51. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2230>

- Seas At Risk. (2012). Reduciendo la huella. <https://seas-at-risk.org/>
- Torres, A. (2017). Dinámica de nutrientes en sistemas cerrados de recirculación en el cultivo de *Piaractus brachypomus*, *Oreochromis sp* y *Cyprinus carpio*, para su aplicación en la acuaponía [Universidad Militar Nueva Granada]. <http://hdl.handle.net/10654/16356>
- Valdez, J., Guerra, D., & Rodríguez, M. (2017). Experiencias en la investigación de acuaponía con variedades de frijol y tilapias. Serviprensa S.A. https://www.researchgate.net/publication/323867221_Experiencias_en_la_investigacion_de_acuaponia_con_variedades_de_frijol_y_tilapias
- Villalobos, S., & González, E. (2016). Determinación de la relación pez planta en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) en sistema de acuaponía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 983–992. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000500983&lng=es&tlng=es
- Villegas, L., & Gutiérrez, L. (2021). Evaluación de la eficiencia de un sistema de acuaponía por biofiltración en el sistema RAS [Unilasallista Corporación Universitaria]. <http://hdl.handle.net/10567/3185>
- Votteler, G. (2021). Evaluación de un sistema acuapónico de pequeña escala, para la producción limpia de tilapia roja (*Oreochromis sp*), cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y rúgula (*Eruca vesicaria sativa*) [Universidad Militar Nueva Granada]. <http://hdl.handle.net/10654/37793>