

NOTA DE INVESTIGACION

PARAMETROS PRODUCTIVOS DE DOS ESPECIES DE PECES AUTÓCTONOS (*Piaractus mesopotamicus* y *Prochilodus lineatus*) EN UN SISTEMA ACUAPÓNICO CON LECHUGA (*Lactuca sativa* L.)

Productive parameters of two native fish species (*Piaractus mesopotamicus* and *Prochilodus lineatus*) in an aquaponic system with lettuce (*Lactuca sativa* L.)

González, Alfredo O.; González, Luis; Comolli, Javier A.; Santinón, Juan J.; Agüero, Carlos; Roux, Juan P.

Cátedra de Producciones No Tradicionales – Facultad de Ciencias Veterinarias – Universidad Nacional del Nordeste. Sgto. Cabral 2139 (3400) – Corrientes.
Email: aogonzalez59@gmail.com

RESUMEN

Se analizó el comportamiento productivo de dos especies de peces autóctonos bajo un sistema intensivo de producción acuapónica. El sistema contó con cuatro módulos, dos para Pacú: M2 y M3 y dos para Sábalo: M1 y M4. Cada módulo estaba constituido por un tanque de 1000 l para los peces, un tanque sobre elevado de 200 l, que recibía el agua del tanque de peces y un biofiltro de 15 l que drenaba en los sistemas hidropónicos, los cuales tenían una superficie de 4 m² por módulo y un flujo de agua en el sistema de 2 l/minuto. Los parámetros de calidad de agua (oxígeno, pH, temperatura y conductividad eléctrica) se mantuvieron dentro de valores aceptables para la cría de los peces y para el crecimiento de la lechuga. En la serie nitrogenada (nitrito, nitrato, amonio, amoníaco) se observaron variaciones en los diferentes módulos, sin llegar a valores críticos. Respecto a los índices productivos de los peces, se obtuvo un mejor desempeño en Pacú, obteniéndose después de 37 días de cultivo una biomasa de 6.900 y 6.930 g para los módulos 2 y 3 de Pacú y 4.780 y 5.090g para los módulos 2 y 4 de Sábalo, respectivamente. Para la lechuga, la biomasa total fue de 7.482, 4.872, 8.584 y 10.672 g para los módulos 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Los resultados indican que el Pacú es una especie de pez alternativa para la producción de acuaponía.

Palabras clave: Acuaponia, Biofiltro, Serie Nitrogenada, Pacú, Sábalo.

ABSTRACT

The productive behavior of two native fish species (Pacú and Sábalo) was analyzed under an intensive aquaponic production system. The system had four modules, two for Pacú: M2 and M3 and two for Sábalo: M1 and M4. Each module consisted of a 1.000 l fish tank, a 200 l overhead tank that received water from the fish tank, and a 15 l biofilter that drained in the hydroponic systems which had a surface of 4 m² per module and a water flow of 2 l/minute in the system. The water quality parameters (oxygen, pH, temperature and electrical conductivity) were kept within acceptable values for fish and lettuce growth. Variations in the nitrogen series (nitrite, nitrate, ammonium, ammonia) were observed in the different modules without reaching critical values. Regarding the productive indexes of fish, a better performance was observed in Pacú, after 37 days of culture obtaining a biomass of 6.900 and 6.930 g for modules 2 and 3 of Pacú and 4.780 and 5.090 g for modules 2 and 4 of Sábalo respectively. The total lettuce biomass was 7.482, 4.872, 8.584 and 10.672 g for modules 1, 2, 3, and 4 respectively. The results indicate that Pacú is a feasible fish species for aquaponics production.

Keywords: Aquaponics, Biofilter, Nitrogen Series, Pacú, Sábalo.

Recibido: 24/Jun/2020. Aceptado: 3/Ago/2021



INTRODUCCIÓN

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible ofrece una visión de un mundo justo y sostenible, libre de pobreza, hambre y malnutrición, comprometido con la igualdad y la no discriminación. En la misma, también se fijan objetivos relativos a la contribución y la práctica de la pesca y la acuicultura en pro de la seguridad alimentaria y la nutrición, así como, la utilización de los recursos naturales por parte del sector, de tal manera que se garantice un desarrollo sostenible en términos económicos, sociales y ambientales, en el contexto del Código de Conducta para la Pesca Responsable de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, 2018).

Las proyecciones de la FAO consideran que la producción acuícola mundial crecerá aceleradamente hasta alcanzar los 83 millones de toneladas en el año 2030, lo que eventualmente convertiría a la acuicultura en la principal fuente abastecedora de pescado para la alimentación humana (Álvarez et al., 2008).

La población mundial ha crecido rápidamente, con un aumento de la demanda similar en la alimentación mundial, especialmente de proteínas de alta calidad, lo que ha impulsado el desarrollo de varios sectores de agronegocios como la acuicultura (Mello Pinho et al., 2017). Sin embargo, grandes volúmenes de agua se requieren para producir estas proteínas animales. La ganadería utiliza aproximadamente 12.000 l de agua para producir 1 kg de carne de res, y los usos convencionales de la acuicultura más de 20.000 l para producir 1 kg de pescado en un sistema de flujo continuo (Goddek et al., 2015, Cohelo Emerenciano et al., 2015). Por consiguiente, la práctica a escala industrial de estas actividades y el reciente crecimiento de la población han causado una grave crisis del agua (Mello Pinho et al., 2017). Para evitar más dificultades relacionadas con el uso de los recursos naturales, nuevos enfoques y tecnologías son necesarios en la agricultura con el objetivo de lograr una mayor productividad con un impacto ambiental mínimo, en comparación con los sistemas convencionales (Martins et al., 2010; Rijn, 2013).

Una alternativa, cada vez más presente, para minimizar los impactos ambientales producidos por la acuicultura intensiva, es proceder a la reutilización del agua; racionalizando este recurso natural, esencial y cada vez más escaso, en términos cualitativos (Mello Pinho et al., 2017). Otra de las principales problemáticas observadas en los sectores hortícolas y acuícolas, es la necesidad de encontrar métodos para disminuir la dependencia de la tierra y del agua y de minimizar el descarte de efluentes al medio natural (Rakocy y Hargreaves, 1993; Rakocy et al., 2006).

Hoy a nivel mundial se emplea del concepto MTD (Mejor Tecnología Disponible) o BAT (siglas en inglés, Best Available Technology), el que ya está integrado a legislaciones ambientales de muchos países y se aplica principalmente a las descargas de efluentes, entre ellos el producido por la acuicultura. Una cláusula de la Water Frame de la Unión Europea, plantea como un objetivo político fundamental alcanzar condiciones ambientales aceptables en todos los cuerpos de agua, fomentando el desarrollo continuo de nuevas tecnologías que reduzcan la influencia de la acuicultura en el medio ambiente, tornándose así, en una actividad más sustentable y lucrativa para la industria (Heldbo, 2015).

El crecimiento de la piscicultura también se ha incrementado en los últimos años en Argentina, donde la piscicultura del Pacú pasó a ocupar un lugar de relevancia. La producción del sector ronda las cinco mil toneladas anuales, considerando únicamente la producción de truchas y Pacú, según el Boletín Institucional Dirección de Acuicultura (2017).

En sistemas de producción tradicionales (estanques excavados), las raciones de alimentos ofrecidos y no consumidas, sumado a las heces y respiración de los propios peces, contribuyen al aumento de la concentración de fósforo y nitrógeno presentes en el agua. Dichos elementos, pueden ser los principales contaminantes en las aguas naturales que reciben los efluentes que provienen de la acuicultura, principalmente cuando se trata de sistemas de producción semi-intensivos o intensivos (Sipaúba, 2013).

En el marco de esta situación global, el sistema acuapónico de producción intensiva se percibe como una alternativa para aumentar la producción de organismos acuáticos sin incrementar significativamente el uso de agua y tierra, lo que minimiza el impacto de la actividad acuícola sobre el ambiente de forma permanente y permite reutilizar el agua de los sistemas. La investigación se basa en algo más ambicioso, en llevar el sistema al nivel de súper intensivo para darle mayor aprovechamiento y producción al sistema acuapónico (Rakocy et al., 2006).

La Acuaponía, como un sistema innovador de producción, cumple esos requisitos. Es un sistema de producción agroalimentario que integra a la acuicultura (cultivo de organismos acuáticos) con la hidroponía (cultivos de plantas terrestres sin la utilización de suelo), en el que existe una relación entre organismos acuáticos, generalmente peces, bacterias y plantas en un sistema cerrado de recirculación de agua (Sipauba et al., 2002; Sipauba, 2013). En este sistema, las raíces de las plantas y las bacterias remueven los nutrientes del agua; estos nutrientes (generados por las heces de los peces, algas muertas y la descomposición de los alimentos) son contaminantes que si no se remueven podrían alcanzar niveles tóxicos para los peces, pero dentro de un sistema acuapónico, sirven para el crecimiento de las plantas. A su vez, las camas hidropónicas mejoran la calidad del agua, la que será recirculada constantemente en los tanques de los peces (Rakocy y Hargreaves, 1993; Diver, 2006; Rakocy *et al.*, 2006; Caló, 2011; Rakocy, 2012; Somerville et al., 2014).

Las bacterias son un eslabón fundamental en el sistema, sirviendo como el puente que conecta los residuos de los peces con el abono de las plantas. Este motor biológico elimina residuos tóxicos transformándolos en nutrientes accesibles para las plantas (Somerville et al., 2014).

El proceso biológico más importante es el de nitrificación, por lo que las bacterias nitrificantes son vitales para el funcionamiento general de una unidad de acuaponía. Dos de los principales grupos de bacterias nitrificantes están involucrados en el proceso de nitrificación: las bacterias oxidantes de amoníaco (AOB) que transforman el amoníaco a nitrito (el grupo más común de estas bacterias son las Nitrosomonas), y las bacterias oxidantes de nitrito (NOB) del género *Nitrobacter*, que realizan la conversión de nitrito a nitrato (Somerville et al., 2014; Sipauba et al., 2002).

El sistema de NFT (Nutrient Film Technique) "la técnica de la película de nutriente", es el sistema recirculante más utilizado para la producción de cultivos en el mundo. Fue desarrollado en la década de los 60 por el Dr. Allan Cooper, en Inglaterra, destinada principalmente a la producción a gran y mediana escala con alta calidad de producción en invernaderos (Somerville et al., 2014).

El sistema NFT se basa principalmente en la reducción y máximo aprovechamiento del espacio, y comprende una serie de diseños, donde el principio básico es la circulación continua o intermitente de una fina capa de solución nutritiva a través de las raíces, pasando por una serie de canales llamados canales de cultivo (Somerville et al., 2014).

El desconocimiento de la aplicación de un sistema acuapónico con peces autóctonos a nivel intensivo o super intensivo, no permite conocer su eficiencia. La determinación de la densidad óptima de cultivo es una limitante del desarrollo de la producción de peces en un sistema acuapónico, toda vez que se desconoce el comportamiento que pueden presentar los peces, lo cual repercute en su crecimiento, ya que, la densidad de peces afecta directamente los índices zootécnicos y productivos, así como en la calidad del agua. La densidad de siembra en todo proceso de cultivo es importante, pues de ello depende la logística, personal, presupuesto requerido y sobre todo la producción. Densidades inadecuadas redundan en la sub-utilización del área y medio de cultivo (agua), desperdicio de alimento, así como en la aparición de enfermedades, mortalidades elevadas y pérdidas económicas lo cual influye en las ganancias y a su vez determinan el éxito o fracaso de la actividad (Santion et al., 2012; Pilco Vergaray, 2015). Por lo tanto, conocer la viabilidad técnica de cultivar especies de peces no convencionales permitirá a los productores diversificar aún más la producción de acuaponía y también puede ser un factor importante para reducir los riesgos relacionados con las fluctuaciones de los precios del mercado (Diver 2006). Además, el mayor número de peces y plantas potenciales permitirá a los inversores elegir especies que produzcan de acuerdo con las características locales. (Mello Pinho, et al. 2017).

En este contexto el Instituto de Ictiología del Nordeste (INICNE) de la Facultad de Ciencias Veterinarias UNNE, viene trabajando desde hace varios años en el tema de piscicultura de especies autóctonas, tanto en investigación, divulgación y extensión y en los últimos años en proyectos de acuaponía con especies de peces autóctonos, como el Pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y Sábalo (*Prochilodus lineatus*). Características ecobiológicas de estas especies elegidas para los ensayos fueron descritas por varios autores, entre ellos; Espinach Ros et al., 1984; Colombo et al., 2000; Rosemberg et al., 2001; Wicki y Luchini, 2002; Ortiz et al., 2005 y 2008a,b; Espinach Ros y Sánchez, 2007; González et al., 2007; Hernández et al., 2015; Roux et al., 2015, Comolli et al., 2019.

El objetivo del presente trabajo es analizar el comportamiento productivo de dos especies de peces autóctonos (*Piaractus mesopotamicus* y *Prochilodus lineatus*) bajo un sistema intensivo de producción acuapónica de lechuga (*Latuca sativa*, cvar. Brisa)

MATERIALES Y MÉTODOS

Este ensayo preliminar, de características observacional, se llevó a cabo con el objetivo de evaluar el crecimiento y la sobrevivencia de dos especies de peces autóctonos bajo condiciones de cultivo intensivo, con la intención de verificar su adaptabilidad y respuesta a este tipo de cultivo, ya que generalmente estas especies son producidas en sistemas semi intensivos a cielo abierto. A su vez, otro objetivo fue determinar la productividad de la lechuga en asociación con Pacú y Sábalo, comparándolas con sistemas hidropónicos o sistemas acuapónicos donde utilizan Tilapia como especie de pez.

Los ensayos se llevaron a cabo en las instalaciones de piscicultura experimental del INICNE, dependiente de la Facultad de Ciencias Veterinarias - UNNE, Corrientes, Argentina. El período de duración del ensayo fue de 37 días entre el 26/10/2019 al 03/12/ 2019.

Diseño experimental

El modelo funcionaba en un invernadero, tipo “Macrotunel”, de 4 m de ancho por 12 m de largo. El sistema contó con cuatro módulos independientes, dos para Pacú: M: 2 y 3 y dos para Sábalo: M: 1 y 4, respectivamente. Cada módulo estaba constituido por un tanque de 1000 l de capacidad donde estaban ubicados los peces, un tanque de 200 l, ubicado a 3m de altura, que recibía el agua del tanque de los peces, y a su vez actuaba como filtro mecánico. Un biofiltro, de capacidad de 15 l, constituido por piedras tipo pómez (Pomelina) y leca, donde se desarrollaron las bacterias nitrificantes, estos a su vez conectados a los sistemas hidropónicos, con una superficie total de 4 m². El movimiento del agua se realizó con bombas de 0,5 HP. Para la aireación del sistema se utilizaron piedras difusoras conectadas a aireadores Hp 4000. El agua era bombeada del tanque de los peces al depósito de 200 l, de acá pasaba por gravedad al biofiltro y de éste al sistema hidropónico, retornando el agua al tanque de los peces también por gravedad, todo regulado por canillas, lo que nos permitió controlar el flujo de agua que circulaba en el sistema, de 2 l/minuto.

El sistema hidropónico que se utilizó fue el NFT o Técnica de Película de Nutrientes, con recirculación cerrada de agua, (únicamente se repuso el agua perdida por evaporación y consumida por las plantas).

Se utilizaron peces juveniles con un peso medio de 58 g (rango entre 40–102) para los Sábalo y 64 g (rango entre 180 - 67) para Pacú, a una biomasa inicial de 3000 g para ambos grupos. Se los alimentó dos veces al día con una ración balanceada comercial conteniendo 32% de proteína, ofreciéndole entre el 6% de la biomasa al principio llegando hacia el final con un 7%. Para estimar el número de plantas en los sistemas acuapónicos, se tuvo en cuenta que aproximadamente 40-60 g de alimento ofrecido a los peces pueden sustentar 1m² de lechugas plantadas a una distancia de 25 cm entre sí (Somerville et al., 2014). Se utilizó una hortaliza de hojas como la lechuga (*Lactuca sativa*, var Brisa) y en cada módulo se trasplantaron 58 plantines.

Los parámetros de calidad de agua se monitorearon durante todo el período experimental, midiéndose la temperatura ambiental dentro del invernadero, temperatura del agua, oxígeno, pH y conductividad. Las mediciones se realizaron en los tanques de los peces y en los canales de cultivo de la lechuga, en horario matutino o vespertino. También se monitorearán semanalmente las concentraciones de Nitrógeno Total, Amonio, Nitrito, Nitrato, Fósforo y Potasio, para ello se obtuvieron tres muestras por módulo; de los tanques de peces, a la salida de los biofiltros y a la salida de los canales de cultivo. Las muestras de agua de cada módulo fueron debidamente recolectadas y enviadas para su análisis al Laboratorio de Química Ambiental (LABQUIAM), dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Nordeste.

Indicadores de productividad

a) Producción de peces:

Se evaluaron las siguientes variables biométricas en los peces:

- Peso Medio Final (PF)
- Tasa de Supervivencia (S), utilizando la siguiente fórmula:

$$S (\%) = N^{\circ} \text{ de individuos al final de la experiencia} / N^{\circ} \text{ de individuos al inicio} * 100$$

- Biomasa Final (BF), utilizando la siguiente fórmula:

$$BF = PF * (\text{total de peces vivos al final del ensayo})$$

- Tasa de Crecimiento Específico (TCE), utilizando la siguiente fórmula:

$TCE = 100 [(\ln Pf - \ln Pi) (T)^{-1}]$, donde ln es el logaritmo natural de Pf (peso final) y Pi (peso inicial) expresado en g durante un período de tiempo determinado (T). (Hepher, 1988).

Al realizarse la biometría final, se evaluó visualmente el estado general de todos los peces en producción, con la finalidad de corroborar la posible presencia de signos de enfermedad o lesiones.

b) Producción de lechuga:

- Biomasa total producida.
- Número de hojas: conteo de las hojas verdaderas fotosintéticamente activas en las diferentes plantas.
- Peso húmedo de las hojas (g): se pesará el total de las hojas.
- Relación porcentual entre el peso de la parte aérea y el de la raíz.

RESULTADOS

Analizados los parámetros de calidad de agua vemos que se mantuvieron dentro de valores aceptables para la cría de las especies de peces y para el crecimiento de la lechuga (Tabla 1).

Tabla 1. Valores promedios de parámetros de calidad de agua de los tanques de peces y de los canales de cultivo.

Tratamiento	Temperatura Ambiente °C	Temperatura Agua °C	pH	Oxígeno %	Oxígeno mg/l	Conductividad µs/s
Peces 1	32,9	26,1	7	78,2	6,4	358,5
Plantas 1	32,9	27,1	6,9	47,5	3,9	356,6
Peces 2	32,9	25,9	6,8	70,6	5,7	379,6
Plantas 2	32,9	26,9	6,8	61,1	4,7	362
Peces 3	32,9	25,9	6,8	69,4	5,6	321,8
Plantas 3	32,9	27,3	6,7	55,8	4,3	301,6
Peces 4	32,9	25,9	6,9	71,9	5,7	352,1
Plantas 4	32,9	28,6	6,8	54,1	4,1	324,4

De las variables ambientales, la que tuvo diferencias notorias fue la concentración de oxígeno, los valores variaron entre 49,1 – 86,1 % y 3,43 – 7,1 mg/l y 40,3 – 78% y 2,6 – 6,25 mg/l con promedios de 72,5 y 55, 3 % y 5,89 – 4,3 mg/l para peces y plantas respectivamente. La conductividad fue disminuyendo con el avance del ensayo y variable en los diferentes módulos, con valores generales que oscilaron entre 207 – 515 µs/s, con promedio de 353 µs/s, un comportamiento distinto se dio en el módulo 1 que fue en aumento al comienzo y disminuye al final del ensayo. Esta variación no se registra tanto entre tanques de peces y canales de cultivo de un mismo módulo (Tabla 1).

En referencia a los resultados de los parámetros de la serie nitrogenada (Amonio, Nitrito, Nitrato) y de Fósforo (P) y Potasio (K), y analizados por fecha, se aprecia que el amonio aumenta con la inclusión de los peces (15/10/19), y luego disminuye con la inclusión de las plantas (26/10/19), salvo en los módulos 1 y 4 correspondiente al ensayo con Sábalo, con valores entre 24 y 25 mg/l que se mide el 14/11/19 y normalizándose en las mediciones del 27/11/19 (Figura 1). El nitrito también aumentó pero sin llegar a valores críticos, en todos los módulos, disminuyendo en la última etapa del ensayo, registrándose los valores más altos en los tanques de peces 2 y 3 y salida de plantas 2 con 0,79, 0,87 y 0,79 mg/l respectivamente y con fecha 14/11/19 (Figura 2). Con respecto al nitrato vemos que fue aumentando a lo largo del ensayo con valores más alto siempre en los módulos 2 y 3 correspondiente a los ensayos con Pacú, observándose un descenso en la medición del 06/11 en la muestra de agua de la salida de plantas (Figura 3).

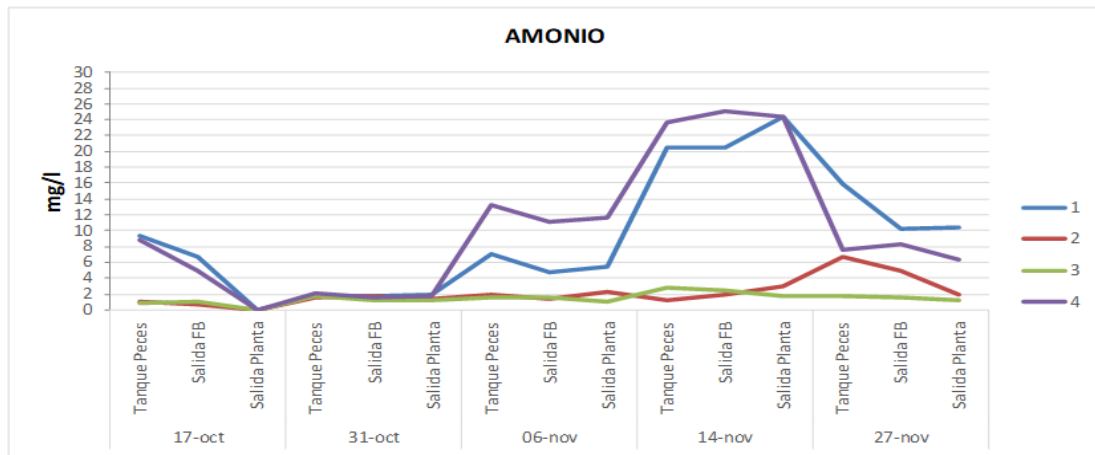


Figura 1: Concentraciones de Amonio totales en Tanques peces (TP), Salida Filtro Biológico (FB) y Salida de Plantas (SP), por fechas y módulos.

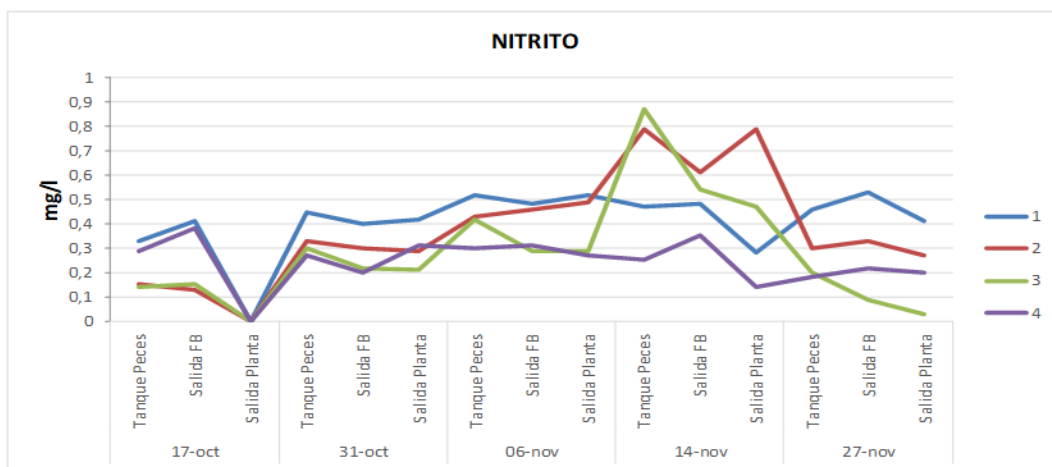


Figura 3. Concentraciones de Nitrito en TP, FB y SP por fechas y módulos.

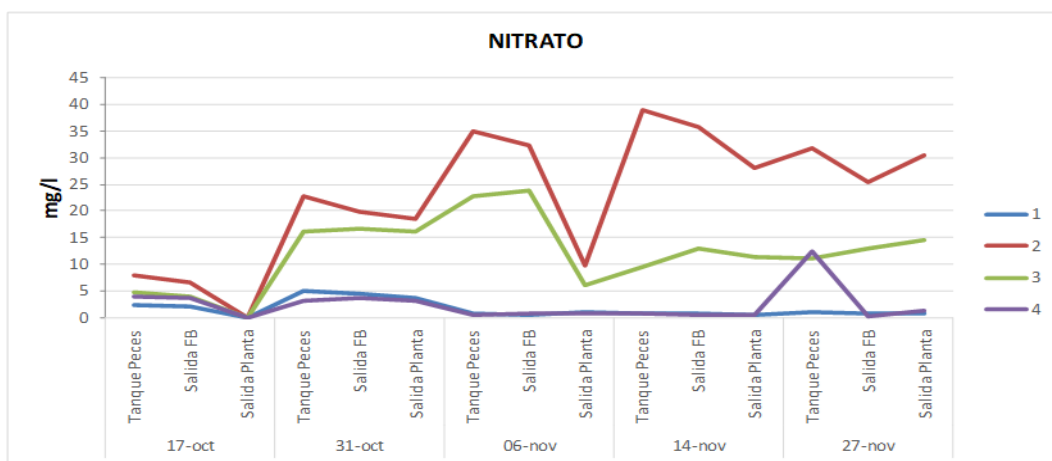


Figura 2. Concentraciones de Nitrito en TP, FB y SP por fechas y módulos.

En cuanto al fósforo siempre dieron valores por debajo del límite de detección por el método utilizado por el laboratorio, con algunos picos principalmente en los tanques de peces donde se registraron valores de 1,82 y 1,55 mg/l en Tanque de Peces (TP) 2 y en la Salida de Biofiltros (SB) 2 respectivamente al final del ensayo (27/11/19) (Figura 4). El potasio fue en aumento al transcurrir el ensayo, salvo en el módulo 4 en las mediciones del 27/11/19, donde se registraron valores de 10 mg/l, los valores máximos se dieron en el módulo 2 que osciló entre 45 y 50 mg/l (Figura 5).

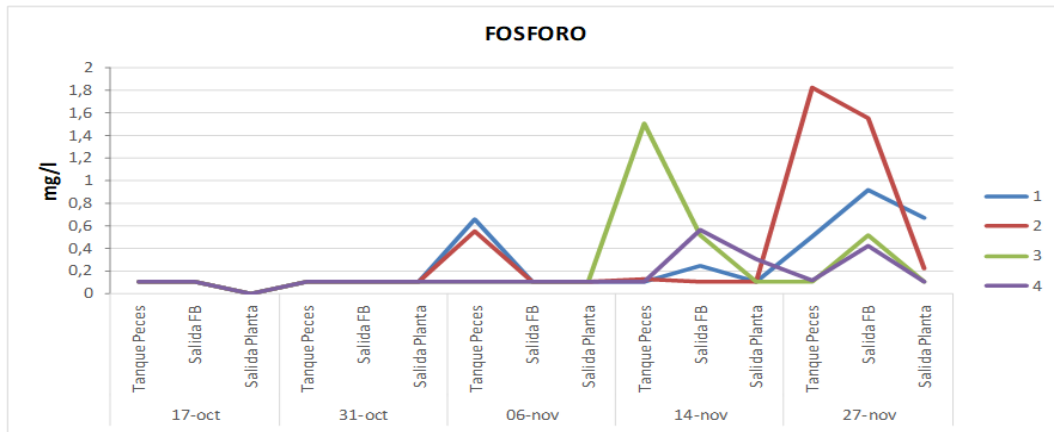


Figura 4: Concentraciones de Fósforo en TP, FB y SP por fechas y módulos.

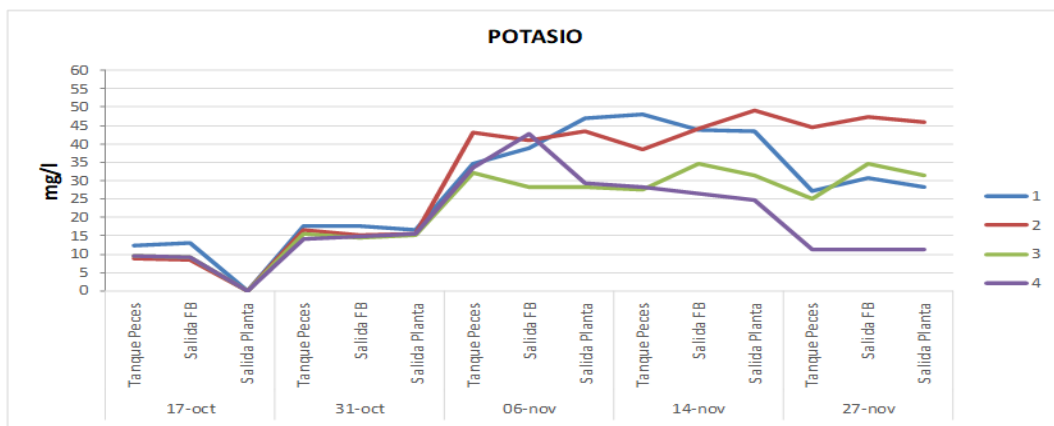


Figura 5. Concentraciones de Potasio en TP, FB y SP por fechas y módulos.

Respecto a los índices productivos de los peces se observó un mejor desempeño en el Pacú que en Sábalo, ambos iniciaron el ensayo con una biomasa de 3000 g, obteniéndose después de 37 días una biomasa de 6900 y 6930 g para los módulos 2 y 3 de Pacú y 4780 y 5090 g para los módulos 2 y 4 de Sábalo, respectivamente; con una biomasa producida de 3900 g para Pacú 2 (P2), 3930 g para P3, de 1780 g para Sábalo 1 (S1) y de 2090 g para S2 (correspondiente a M4). La GDP fue de 102,6 g, 103,4 g, 46,8 g y 55 g para P1, P2, S1 y S2, respectivamente. La TCE fue de 1,2; 1,3; 2,1 y 2,2 %, para S1, S2, P1 y P2, respectivamente. La sobrevivencia fue del 100 % en todos los tratamientos.

En la tabla 2 se aprecia la evolución del crecimiento de las raíces y el aumento del número de hojas en las plantas desde el día del trasplante hasta unos días antes de la cosecha total.

Tabla 2. Longitud de raíz expresada en cm y N° de hojas de lechuga

Promedios	Módulo 1		Módulo 2		Módulo 3		Módulo 4	
	Long. Raíz	N° Hojas	Long. Raíz	N° Hojas	Long. Raíz	N° Hojas	Long. Raíz	N° Hojas
26/10/19	2,17	3,25	2,25	3,08	2,79	3,50	2,83	3,42
30/10/19	3,98	5,50	3,17	5,08	3,68	5,42	3,23	5,08
04/11/19	5,42	6,83	5,96	6,25	5,03	7,12	5,14	7,42
08/11/19	7,33	7,95	6,79	7,15	7,00	8,54	7,19	9,67
12/11/19	9,10	8,17	8,54	7,62	8,82	9,95	9,01	11,58
16/11/19	11,23	9,92	9,87	8,33	10,11	10,03	10,48	13,94
22/11/19	12,75	12,92	10,82	10,92	12,73	11,42	12,67	15,38
27/11/19	14,28	15,08	12,16	12,42	14,20	14,17	15,32	16,42

Al momento de la cosecha se observan diferencias en los 4 módulos, obteniéndose un promedio de peso total mayor en el M 4 con 184 g y un bajo rendimiento en el M 2 con 84 g. La Biomasa total fue de 7.482, 4.872, 8.584 y 10.672 g para los módulos 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Con respecto al N° de hojas vemos que los M 1, 3 y 4 tienen poca diferencia con 16,8, 16,4 y 18,6 respectivamente, mientras que el N° de hojas en el 2 fue de 12,8. Las mismas diferencias de comportamiento del peso total de las plantas se vio en la relación de tallo – raíz, pero manteniendo una relación porcentual tallo – raíz semejante en todos los módulos, con aproximadamente el 80% para la parte aérea y un 20% para las raíces (Figuras 6 y 7).

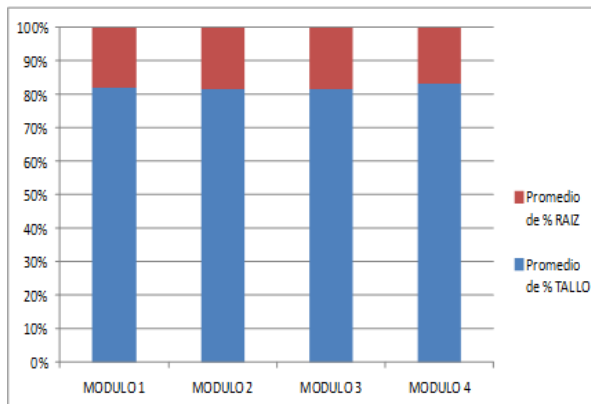
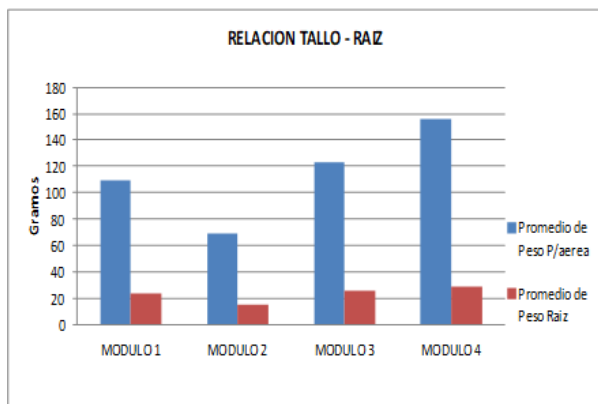


Figura 6. Relación parte aérea planta y raíz en gramos

Figura 7. Relación porcentual de parte aérea y raíz

DISCUSIÓN

La calidad del agua estará determinada por el conjunto de las propiedades químicas y físicas de la misma y por las interacciones producidas entre los organismos vivos existentes en el cultivo, junto al medio ambiente del propio cultivo (Fernández Cirelli et al., 2010; Della Rosa et al., 2016). En este trabajo, los parámetros físicos y químicos de calidad del agua permanecieron dentro de valores adecuados para ambas especies, coincidente con los trabajos en las mismas especies de Della Rosa et al. (2016), Wicki (2003) y Ortiz et al. (2008a) para Pacú, o en los datos de referencia de Fernández Cirelli et al. (2010), Sipaúba (2013), para las especies tropicales o subtropicales. Los valores de oxígeno observados en las mediciones realizadas el día 12/11/19, principalmente en el M2 donde el oxígeno disuelto en la Salida de Plantas (SP) está por debajo de los aceptados para las plantas y en los límites para los peces, es coincidente con el registro de mayor temperatura ambiental 38 °C, y del agua (28,5 y 29,7 °C) para el Tanque de Peces (TP) y SP respectivamente, y como la mediciones se hicieron en hora de la tarde, es en el M2 donde más inciden los rayos solares en horario vespertino; siendo la temperatura uno de los factores que intervienen en la concentración de oxígeno, a mayor temperatura es menor la disolución de oxígeno en el agua (Kubitza, 2013; 2017a).

El amonio total, nitrito (NO_2) y nitrato (NO_3) son compuestos nitrogenados que se acumulan en el agua y pueden poner en riesgo la salud, la sobrevivencia y el desempeño zootécnico de los peces. El amonio total puede estar en el agua en dos formas, una ionizada (NH_4) que es poco tóxica y una forma no ionizada (NH_3) que es bastante tóxica para los peces, el porcentaje de cada uno depende principalmente del pH del agua (Campos y Ono, 2015, Kubitza, 2017b). Valores de amonio de 0,2 mg/l son tomados como valores de atención en la calidad de agua (la concentración de nitrógeno N-NH_3 es del 82% del valor de NH_3 , por lo que si la medición esta expresada en N-NH_3 el valor de atención es de 0,16) (Kubitza, 2013; 2017b; Sipaúba, 2013).

En el ensayo se observa que los valores de amonio son superiores a los de referencia tanto en los TP, SB o SP (Figura 1), a pesar de esto no hubo mortandad en los peces y se obtuvieron buenos resultados en los índices productivos en Pacú. Esto se pudo deber al comportamiento del pH, debido a que con pH de 6,5 o 7 solo el 0,22% al 0,71% corresponden al gas amonio NH_3 que es tóxico, el resto está en forma de ion de amonio NH_4 , no tóxico, por lo tanto para alcanzar una concentración de 0,2 mg/l a ese pH tendríamos que tener una medición de amonio total de 29 mg/l (Kubitza, 2013; 2017c; Sipaúba, 2013; Somerville, et al., 2014). Domínguez Castanedo y Martínez Espinosa (2012) llegan a las mismas conclusiones en su trabajo de cría de Pacú en sistema de recirculación cerrada de agua (SRA), donde las concentraciones de nitrógeno amoniacal fueron de 17,75 mg/l con un pH neutro – ácido.

Las altas concentración que se dieron principalmente en TP donde estaban los Sábalo se pudo deber a que estos peces se los alimentaba con balanceado partido y molido, lo que genera más materia orgánica y por ende más N. Las concentraciones en la FB, se pudieron haber debido a que las condiciones en los mismos no fueron las requeridas para un buen desarrollo y desempeño de las bacterias nitrificantes o la subdimensión de los FB (Rakocy y Hargreaves, 1993; Rakocy et al., 2006; Colagrosso, 2014; Semorville et al., 2014). Mello Pinh et al. (2017), trabajando con Pacú y Tilapias en acuaponia obtuvieron valores bajos de toda la serie nitrogenada, únicamente citan un aumento en la concentración de ortofosfatos. En trabajos realizados con juveniles de catfish americano (bagre del canal) (*Ictalurus punctatus*), y expuestos a niveles de amonio de 0,43 mg de N-NH₃/l y desafiados con la bacteria *Flavobacterium columnare*, no presentaron mortalidad, tampoco se observó aumento de mortalidad en juveniles de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) expuestos a 0,37 mg N-NH₃/l, inoculadas con *Streptococcus agalactiae* (Kubitza, 2017b,c). No obstante, es razonable pensar que peces expuestos a concentraciones subletales de amonio sean tolerantes a enfermedades dado la diversidad de patógenos presente en las producciones de peces, como también modificaciones en los índices productivos.

Cuando el porcentaje de nitrito supera el 5%, los peces pueden sufrir déficit de oxígeno, incluso con niveles normales de oxígeno en el agua (Kubitza, 2013, 2017a, Sipaúba, 2013). Boyd (1990), citado por Kubitza (2017b), relata el resultado de diversos estudios sobre la toxicidad del nitrito con el bagre de canal, en uno de estos experimentos fue registrado que el 21% de la hemoglobina estaba en la forma de metahemoglobina después que los peces fueron sometidos a 1 mg/l de N-NO₂ por 24 horas, ese porcentaje fue del 60 % con 2,5 mg/l N-NO₂ en 24 hs. Los niveles de NO₂ considerados como normales para peces tropicales es de 2,2mg/l NO₂ o de 0,1 – 0,7 mg/l de N-NO₂ (Fernández Cirelli et al., 2010; Kubitza, 2013; 2017c; Sipaúba, 2013). En los ensayos realizados, los valores siempre estuvieron por debajo de esos rangos por lo que no tuvieron influencia en el desempeño zootécnico de los peces, tampoco afectó a las plantas ya que estas utilizan muy poco el nitrito como nutriente, utilizando principalmente el nitrato y en menos proporción el amonio (Goites, 2008; Caló, 2011). Valores de 0,06 y 0,04 mg/l para Pacú y Tilapia, respectivamente, fueron medidos en los ensayos realizados por Mello Pinho et al. (2017) en un sistema acuapónico. Domínguez Castanedo y Martínez Espinosa (2012), obtuvieron niveles de 10 mg/l NO₂ en la cría de Pacú en SRA, los mismos autores dan como niveles óptimos recomendados para esta especie de 8,0mg/l, obteniendo una supervivencia de 99% y fueron superiores a los 5,6 mg/l reportados como niveles letales por Ferreira da Costa et al. (2004) para *Colossoma macropomum* en exposiciones mayores a 70 horas, citado por el mismo autor.

El nitrato es el producto final de la oxidación del amonio por las bacterias nitrificantes, es relativamente poco tóxico comparado con el nitrito y el amonio. En los sistemas de recirculación el nitrato puede alcanzar niveles muy altos, no así en viveros o estanques porque el nitrato es la principal fuente de nitrógeno del fitoplancton y las algas, lo mismo ocurriría en un sistema de acuaponía. Niveles de 100 e 200 mg/l son considerados adecuados de nitrato para peces tropicales de agua dulce (Fernández Cirelli et al., 2010; Kubitza, 2013; 2017b; Sipaúba, 2013), otros autores hablan de 25 mg/l de N-NO₃/l y que valores de arriba de 100 mg/l de N-NO₃, requieren vigilancia (Chaverra Garcés et al., 2017). La molécula de nitrato tiene un 23% de N en su composición, así 1 mg de NO₃/l equivale a 0,23 mg de N-NO₃/l (Kubitza, 2013; 2017c). En trabajos realizados con juveniles de Tilapia criadas en agua conteniendo 1000 mg/l NO₃ se observaron reducción de 29% en la ganancia de peso y de 56% en la conversión alimenticia, comparados con juveniles mantenidos con 500 mg/l NO₃. Los peces expuestos a la mayor concentración presentaron niveles elevados de nitrito y de metahemoglobina, concluyendo que las concentraciones de NO₃ deben ser preservados por debajo de 500 mg/l (Kubitza, 2017b). El mismo autor cita un trabajo de Davidson et al. (2014), que no tuvieron problemas de crecimiento, ni sintomatología nerviosa propia de las intoxicaciones por productos nitrogenados, trabajando con truchas arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) con concentraciones de 80 y 100 mg/l N-NO₃, comparando con truchas criadas en agua conteniendo 30 mg/l N-NO₃, el mismo autor comenta de un estudio realizado por científicos del Conservation Fund Freshwater Institute, en Virginia, Estados Unidos, donde truchas arcoiris fueron expuestas a niveles de 75 a 100 mg/l, en SRA y mostraron deformaciones y comportamiento anómalo en los peces cuando se fue aumentando el nivel de nitratos en el agua, debido a una reducción en la recirculación y un aumento de la alimentación.

En un sistema de producción acuapónico se conjugan dos factores relevantes, uno que se realiza en un sistema de recirculación cerrada y otro que nos permiten aumentar la densidad de peces por m³. En un sistema de cultivo determinado, el efecto de la densidad de cría es uno de los factores más importantes a considerar sobre

sobre los parámetros de crecimiento, supervivencia y comportamiento (Santinón et al., 2012). Si bien solo se encontró un estudio relacionado con el Pacú criado en el sistema de acuaponía (Mello Pinho et al., 2017), los resultados obtenidos en el presente trabajo coinciden con los obtenidos por este autor que también tuvieron una TCE del 2,3%, y una similar biomasa final, trabajando con juveniles pero con un peso inferior al nuestro (33 g); similares resultados fueron obtenidos por Poleo et al. (2011), para cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en un sistema de recirculación cerrada. Chaverra Garcés et al. (2017) reporta tasas de crecimiento de 1,93 a 2,24 %/día para Pacú (*P. mesopotamicus*) cultivado en bioflocos. El porcentaje de crecimiento obtenido en este trabajo, 133 y 130% en la biomasa fue superior a los obtenidos por Domínguez Castanedo y Martínez Espinosa (2012), en un cultivo intensivo de Pacú con 96,8% en SRA y de Rebaza et al. (2002), que trabajó con *P. brachypomus*, donde obtuvieron un 89% de crecimiento con un mismo tenor de proteínas, trabajando con peces de promedio de 1 a 2 g, edad en el que el potencial de crecimiento es muy alto para esta especie. También fueron superiores a los resultados publicados por Ortiz et al. (2005) 35,3 y 67,72%, y a lo reportado por Roux y Bechara (1998) en un trabajo de engorde de Pacú en estanques. En un sistema acuapónico con *P. brachypomus*, Pilco Vergaray (2015), en su tesis de graduación realizada en Perú obtuvo un mayor crecimiento, pero una menor sobrevivencia de los peces, esto también se pudo deber al haber utilizado en los ensayos peces de menor tamaño.

Con referencia a los parámetros productivos del Sábalo, los resultados obtenidos, tanto en GPD, TCE y Biomasa, son bajos en referencias a otros trabajos realizados en estanques o jaulas (Sverlij et al., 1993). Esto se pudo deber a que, al ser un pez detritívoro, no pudo aprovechar el alimento de producción primaria de un estanque de tierra, ya que en nuestro sistema intensivo la única alimentación recibida fue alimento balanceado partido o molido. Della Rosa et al. (2014), plantean sobre este tema que el principal problema para la cría en cautiverio, es la dificultad para encontrar una dieta apropiada que maximice su potencial productivo, constituyéndose en un cuello de botella que impide la expansión de la actividad. Dichos autores trabajando en estanque de tierra y tanques australianos con piso de cemento, obtienen mayor ganancia de peso en los primeros, adjudicando este hecho al aporte de nutrientes del suelo fértil en los estanques con fondo de tierra, agregando que dicho ambiente favorece el crecimiento de los peces. Del mismo modo, Sábalo criados en jaulas no obtuvieron buenas ganancias de peso y presentaron un desempeño inferior a aquéllos mantenidos en estanques durante todo el experimento, quizás por tratarse de una especie iliófaga que se alimenta del fondo de los estanques (Della Rosa et al., 2014). Parma, (1992) cultivando Sábalo a una densidad de 3,2 peces/m² en estanques de concreto cuyo fondo fue abonado con abundante material orgánico, sin suministrar alimento balanceado, obtuvo un crecimiento satisfactorio pero inferior a otras experiencias comparadas por el mismo autor.

Della Rosa et al., (2016), en su trabajo de desempeño del Sábalo en policultivo con Pacú, en sistema semi intensivo observa una menor sobrevivencia, 80% en el cultivo de solo Sábalo y un coeficiente de crecimiento específico (CCE) de 0,9%, la sobrevivencia en nuestros ensayos fueron del 100% y una TCE de 1,2 %, pero en policultivo con Pacú el CCE obtenido es de 1,6%, y si bien la conversión alimenticia estimada en el que presentaba únicamente Sábalo no fue estadísticamente diferente al resto, los valores obtenidos fueron superiores, esto pudo ser debido a que no solo consumieron alimento balanceado, sino que además, debido a sus hábitos alimenticios utilizaron detritos y material orgánico del fondo de los estanques. García et al. (2011) observaron que, durante la etapa inicial, los bocachicos consumen alimento balanceado, a pesar de sus hábitos alimenticios bentónicos, por lo que su ausencia afecta el crecimiento. Comolli et al. (2016, 2019), trabajando con larvas de Sábalo obtiene mejor sobrevivencia y crecimiento en los tratamientos que usa fertilización más alimento balanceado respecto a aquéllos que solo se alimentaron con la producción primaria del estanque. Frutos, (s/f), expresa que en sus ensayos el alimento balanceado ha sido aceptado por los peces de manera satisfactoria, hasta el punto de ser buscado en la superficie; comportamiento poco habitual del Sábalo en la naturaleza, debido a su comportamiento iliófago.

En relación a las plantas, más de 150 diferentes especies de vegetales ya demostraron resultados positivos en cultivos acuapónicos, siendo las especies de hojas las menos exigentes en nutrientes y manejos (Cohelo Emerciano, 2015). Esa fue una de las razones que nos llevó a la elección de lechuga en los ensayos, además el consumo de lechuga está ampliamente generalizado en Argentina y se estima 20,7 kg por habitante año, ubicándose en tercer lugar dentro de las hortalizas. La superficie cultivada en el país se estima en 40.000 hectáreas, en especial en los cinturones hortícolas que rodean las grandes ciudades: Buenos Aires, Mar del Plata, Rosario y Santa Fe, Santiago del Estero y Mendoza (Fernández Lozano, 2012).

Para su proceso básico de fotosíntesis, los vegetales utilizan el carbono (C) disponible en el dióxido de carbono atmosférico (CO₂), el oxígeno e hidrógeno del agua (HO₂), sumado a la energía proveniente de la luz, que capturan sus hojas. Todos los demás nutrientes, llamados en general sales inorgánicas, deben ser absorbidos del suelo donde están arraigados, o en el caso del cultivo acuapónico de la misma agua de cultivo. Los desperdicios sólidos en los SRA, involucran en su composición a todos los nutrientes esenciales para las plantas, y existe una acumulación importante de nitratos y otros nutrientes principales.

Sin embargo, existen cantidades limitadas y desbalances referidos a aquellos valores de requerimientos en los vegetales. Es decir que, aunque el alimento de los peces posea generalmente todos los elementos mencionados con anterioridad, los mismos se encuentran en un balance preparado para los peces, por esto, suele notarse un déficit en las plantas, a través del tiempo, en algún compuesto (incluso en sistemas apropiadamente balanceados en su carga), siendo el hierro, potasio y calcio los minerales más limitados (Cohelo Emerenciano et al, 2015).

Los resultados obtenidos en este trabajo, referido a la productividad de la lechuga, fueron similares a otros ensayos realizado en las mismas instalaciones (datos no publicados), y fueron muy superiores a los obtenidos en su tesis por Meza Arroyo (2018), quien inclusive obtienen mejores resultados en sus ensayos utilizando el método de camas flotantes que el NFT. Moreno Simón y Zafra Trelles (2014) obtiene pesos inferiores trabajando con Tilapia y lechuga, realizando la cosecha a los 90 días. Pérez Gómez (2017) obtienen resultados similares a los de este trabajo utilizando una densidad de 20 kg/m³ de Tilapia, pero cuando utiliza una densidad de 10 kg/m³ los resultados son inferiores. En el presente trabajo se destaca el comportamiento del M2 donde los resultados son inferiores a los otros módulos, con menor desarrollo radicular, e inclusive la coloración de las plantas eran de un verde amarillento (observación in situ), síntomas de una deficiencia principalmente en sustancias nitrogenadas, pero cuando analizamos los valores de NO₃ en ese módulo vemos la concentración más alta. Analizadas las otras variables, no se observan diferencias con los otros módulos. Somerville et al. (2014) menciona que generalmente se ve comprometida la solubilidad de algunos de estos compuestos en relación al pH o se encuentran en algún estado no disponible para las plantas; porque no se ha desarrollado efectivamente el proceso de mineralización.

CONCLUSIÓN

Los resultados indicaron que el Pacú es una especie de pez alternativa para la producción de acuaponía, y si bien el Sábalo no tuvo un buen desempeño en estos primeros ensayos, es interesante seguir con las experiencias dado que la producción de hortalizas fue positiva, más si se tiene en cuenta que el 80% de la rentabilidad en un sistema de acuaponía es dado por las plantas. También sería interesante realizar ensayos en policultivos de Pacú y Sábalo.

REFERENCIAS

- Álvarez J., Tello S., Tello H. y Campos L. (2008). Estrategia de Desarrollo de la Acuicultura en la Región Loreto. <https://es.scribd.com/document/256302162/ESTRATEGIA-DE-DESARROLLO-DE-LA-ACUICULTURA-EN-LORETO-pdf>.
- Caló P. (2011). Introducción a la Acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola- CENADAC. Dirección de Acuicultura. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. Disponible en: <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/>
- Campos, J.L. y Ono, E.A. (2015). Vantagens, riscos e desafios da intensificação da produção de peixes em viveiros. Revista Panorama de Aquicultura, 25 (15) 1: 44–49. R.J. Brasil
- Chaverra Garcés, S.C., García González J.J. y Pardo Carrasco S.C. (2017). Efectos del biofloc sobre los parámetros de crecimiento de juveniles de cachama blanca *Piaractus brachypomus*. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia, 12 (3). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Cohelo Emerenciano, M.G., Lemos de Mello, G., Mello Pinho, S., Mlinari, D. y Blum, M.N. (2015). Aquaponia: uma alternativa de diversificação na aquicultura. Revista Panorama da Aquicultura, 25 (147) : 24-35. Rio de Janeiro, Brasil.
- Colagrosso A. (2014). Instalación y manejo de sistema de cultivo acuaponico a pequeña escala. Fuente: https://books.google.com.ar/books/about/Instalaci%C3%B3n_y_manejo_de_sistemas_de_cul.html?id=t_1_CgAAQBAJ&printsec=frontcover&source=kp_read_button&hl=es-419&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Colombo, J.C., Bilos, C., Remes Lenicov, M., Colautti, D., Landoni, P. y Brochu, C. (2000). Detritivorous fish contamination in the Río de la Plata estuary: a critical accumulation. Pathway in the cycle of anthropogenic compounds. Can. J. Fish. Aquat. Sci 57 : 1139-1150.

- Comolli, J.A., González, A.O., Agüero, C.H., Roux, J.P. y Sánchez, S. (2016). Larvicultura semi-intensiva de Sábalo (*Prochilodus lineatus*) con diferentes regímenes alimenticios. *Rev vet* 27 (2): 103-106. Corrientes, Argentina. <http://dx.doi.org/10.30972/vet.2721081>
- Comolli, J.A., González, A.O., Agüero, C.H., Sánchez, S. y Roux, J.P. (2019). Larvicultura de Sábalo (*Prochilodus lineatus*) con diferentes tiempos en laboratorio y estanque. *Agrotecnia* 28 : 5-9.
- Della Rosa, P., Roux, J.P., Sánchez, S., Ortiz JC y Domitrovic, H.A. (2014). Productividad del Sábalo (*Prochilodus lineatus*) cultivado en estanques con diferentes tipos de fondo. *Rev vet* 25 (2) : 126-130, Corrientes, Argentina. <http://dx.doi.org/10.30972/vet.252507>
- Della Rosa, P., Ortiz, J.C., Cáceres, A., Sánchez, S. y Roux, J.P. (2016). Desempeño del Sábalo *Prochilodus lineatus* en policultivo con Pacú *Piaractus mesopotamicus*. *Latin American Journal of Aquatic Research, Res.*, 44 (2) : 336-341. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=175046298014>
- Diver, S. (2006). *Aquaponics -Integration of Hydroponics with Aquaculture*. A Publication of ATTRA—National Sustainable Agriculture Information Service 1-800-346-9140.
- Domínguez Castanedo, O. y Martínez Espinosa, D.A. (2012). Desempeño de los sistemas acuícolas de recirculación en el cultivo intensivo del Pacú *Piaractus mesopotamicus* (Characiformes: Characidae). *Revista de Biología Tropical* 60 (1) : 381-391. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v60i1.2771>
- Espinach Ros, A., Hulbert, S.H. y Amutio, V.G. (1984). Induced breeding of the Sábalo, *Prochilodus platensis* Holmberg. *Aquaculture, Amsterdam, Países Bajos*, 41: 385-388. ISSN 0044-8486.
- Espinach Ros, A. y Sánchez, R.P. (2007). Proyecto Evaluación del Recurso Sábalo en el Paraná – Informe de los resultados de la primera etapa 2005-2006 y medidas de manejo recomendadas. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.
- FAO. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Disponible en: <https://www.fao.org/documents/card/es/c/I9540ES/>
- FAO (s.f.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces. Departamento de pesca. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5685s/x5685s03.htm>
- Fernández Cirelli, A., Schenone, N., Pérez Carrera, A. y Volpedo, A. (2010). Calidad de agua para la producción de especies animales tradicionales y no tradicionales en Argentina. *AUGMDOMUS*, 1:45-66. Asociación de Universidades Grupo Montevideo ISSN:1852-2181
- Fernández Lozano, J. (2012). La producción de hortalizas en Argentina. Gerencia de Calidad y Tecnología. Mercado Central de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. 29 p.
- Ferreira da Costa, O.T., Dos Santos, F.D., Mendonça, L.P. & Fernández, M.N. (2004). Susceptibility of the AmazonFish, *Colossoma macropomum* (Serrasalminae), to short-term exposure to nitrite. *Aquaculture* 232 : 627-636.
- García, J.J., Celis, L.M., Villalba, E.L., Mendoza, L.C., Brú, S.B., Atencio, V.J. y Pardo, S.C. (2011). Evaluación del policultivo de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) y Tilapia (*Oreochromis niloticus*) utilizando superficies fijadoras de perifiton. *Rev. Med. Vet. Zootec.*, 58 (2) : 71-83. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-29522011000200002&lng=en&tlng=es.
- Goddek, S., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K.V., Jijakli, H. y Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability* 7 : 4199-4224. <https://doi.org/10.3390/su7044199>
- Goites, E. (2008). Manual de cultivos para la huerta orgánica familiar. *Prohuerta INTA Ed*, 163.
- González, A.O., Sánchez, S., Ortiz, J.C., Hernández, D.R. y Roux, J.P. (2007). Utilización de cobertura plástica en estanques de reproductores de Pacú (*Piaractus mesopotamicus*). Informe preliminar. XVIII Sesión de Comunicaciones Científicas. Fac. Cs. Veterinarias. UNNE
- Heldbo, J. (2015). Sistemas de recirculação: A vanguarda da aquicultura Dinamarquesa. *Panorama de Acuicultura*. 25 (148) : 37-45.
- Hepher, B. (1988). Nutrición de peces comerciales en Estanques. *Fish and Aquaculture Research Station, Dor, Israel*, 311 pp.
- Hernández, D.R., Agüero, C., Santinón JJ, González AO y Sánchez S. (2015). Growth, survival and bone alterations in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) larvae in different rearing protocols. *Ciência Rural Santa Maria, Brasil*. ISSN 0103-8478.
- Kubitza, F. (2013). *Qualidade de água no cultivo de peixe e camarões*. 208 pp. Jundiaí, SP 2013. ISBN 978-8598-545-08-0
- Kubitza, F. (2017a). A água na aquicultura /parte 1: Oxigênio dissolvido e sua importância para o desempenho e saúde de peixes e camarões. *Revista Panorama de Aquicultura* 27 (162) : 23 – 33. R.J. Brasil
- Kubitza, F. (2017b). pH da água regula excreção e toxidez de amônia. *Revista Panorama de Aquicultura* 27 (160) : 14 – 23. R.J. Brasil
- Kubitza, F. (2017c). O impacto da amônia, do nitrito e do nitrato sobre o desempenho e a saúde dos peixes e camarões. *Revista Panorama de Aquicultura* 27 (164) : 14 – 27. R.J. Brasil
- Martins, C.; Eding, E.; Verdegem, M.; Heinsbroek, L.; Shneider, O.; Blancheton, J.; Roque, E.; Verreth, J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability. *Aquac Eng* 43:83-93. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>
- Mello Pinho, S., Lemos de Mello, G., Fitzsimmons, K. M. y Coelho Emerenciano, M.G. (2017). Integrated production of fish (Pacú *Piaractus mesopotamicus* and red Tilapia *Oreochromis* sp.) with two varieties

- garnish (scallion and parsley) in aquaponics system. *Aquacult Int.* Springer International Publishing AG. DOI 10.1007/s10499-017-0198.
- Meza Arroyo, M. (2018). Comportamiento de tres técnicas de cultivohidroponico con lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema acuaponico - echarati - la convención- cusco. Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo Tropical. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- MINAGRI. (2017). Boletín de la Dirección de Acuicultura. Dirección Nacional de Planificación Pesquera. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de la Nación. Buenos Aires (Argentina), 1-8 p.
- Moreno Simón, E.W. y Zafra Trelles, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de Tilapia. *REBIOL* 2014; 34 (2) : 60-72, Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú
- Ortiz, J.C., Sánchez, S., Roux, J.P. y González, A.O. (2005). Crecimiento compensatorio de juveniles de Pacú (*Piaractus mesopotamicus*) de pequeña talla. Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad Nacional del Nordeste.
- Ortiz, J., Sánchez, S., Roux, J.P. y González, A.O. (2008a). Crecimiento compensatorio de juveniles de Pacú (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) en diferentes sistemas de alimentación. *B. Inst. Pesca, São Paulo*, 34 (2) : 251 – 258.
- Ortiz, J.C., Sánchez, S., Roux, J.P. y González, A.O. (2008b). Efecto de ciclos de ayuno-alimentación sobre el crecimiento de juveniles de Pacú (*Piaractus mesopotamicus*). *Boletim do Instituto de Pesca*, 34 (2): 251-258.
- Parma, M.J. (1992). Comportamiento y crecimiento de *Prochilodus lineatus* (Pisces, Curimatidae) en condiciones controladas. *Rev Asoc Cienc Nat Litoral* 23: 9-20.
- Pérez Gómez, E.A. (2017). Producción de Lechuga y Tilapia en Acuaponia. Congreso Nacional de Acuaponia. Universidad Autónoma de Chapingo. Mexico.
- Pilco Vergaray, J. (2015). Comportamiento productivo de dos densidades de siembra de *Piaractus brachyomus* “paco” en un sistema acuapónico superintensivo, en el Iesppb, 2015. Tesis Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales Yarinacocha – Perú.
- Poleo, G., Aranbarrio, J. V., Mendoza, L., y Romero, O. (2011). Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46 : 429-437.
- Rakocy, J.E. y Hargreaves, J.A. (1993). Integration of vegetable hydroponics with fish culture: a review. In: *Techniques for Modern Aquaculture – Aquacultural Engineering Conference, 1993, Spokane. Proceedings*. Spokane: ASAE, 1993. 112–136 p.
- Rakocy, J.E., Masser, M.P. y Losordo, T.M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics- integrating fish and plant culture. Texas: Southern Regional Aquaculture Center, Texas A & M University, (SRAC Publication No. 454).
- Rakocy, J. 2012 Aquaponics—integrating fish and plant culture. In: J.H., Tidwell (Ed) *Aquaculture production-systems*, 1st edn. Wiley-Blackwell, Oxford, 343–386 p.
- Rebaza, C., Villafana, E., Rebaza, M. y Deza, S. (2002). Influencia de tres densidades de siembra en el crecimiento de *Piaractus brachyomus*. “paco” en segunda fase de alevinaje en estanques seminaturales. *Folia Amazónica*, 13 (1-2) : 122 – 134.
- Rijn, J. (2013). Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquac Eng* 53 : 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.010>
- Rosenberg, C., Bruno, E., Carpinetti, N. y Apartín, C. (2001). Contenido de metales pesados en tejidos de Sábalo (*Prochilodus lineatus*) del río Pilcomayo, Misión La Paz, Provincia de Salta. *Asoc. Cienc. Nat. Litoral - Natura Neotropicalis* 32 (2) : 141 – 145.
- Roux, J.P., González, A.O., Ortiz, J., Sánchez, S. y Comolli, J. (2015). Larvicultura Intensiva de Sábalo (*Prochilodus lineatus*) con diferentes densidades de cría. *Revista Veterinaria Fac. de Cs. Veterinarias. UNNE*. <http://dx.doi.org/10.30972/vet.262228>
- Roux, J.P. y Bechara, J.A. (1998). Engorde de Pacú (*Piaractus mesopotamicus*) en sistemas semiintensivos en el norte de la provincia de Santa Fe (Argentina). *Revista de Ictiología*, 6 (1 y 2) : 65-72.
- Santinón, J.J., Hernández, D.R., Sánchez, S. y Domitrovic, H.A. (2012). Efecto de diferentes densidades de cría sobre el crecimiento y la supervivencia de *Rhamdia quelen* juveniles (Pisces, Siluriformes) . *Rev. vet.* 23 (1) : 64-68. <http://dx.doi.org/10.30972/vet.2311814>
- Sipaúba, L.H., Favero, E.G.P. y Braga, F.D.S. (2002). Utilization of macrophyte biofilter in effluent from aquaculture: I. Floating plant. *Brazilian Journal of Biology*, 62 (4A) : 713-723. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842002000400019>
- Sipaúba, L.H. (2013). Uso Racional da Agua em Acuicultura. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel. 95-100p.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. y Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No.-589*. Rome, FAO. 288 pp
- Sverlij, S.B., Espinach Ros, A. y Ortiz, G. (1993). Sinopsis de los datos biológicos y pesqueros del Sábalo *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847). *FAO Sinopsis sobre la Pesca*, No.154. Roma, FAO. 64p.
- Wicki, G. (2003). Cultivo y producción de Pacú (*Piaractus mesopotamicus*): Incidencia de dos dietas de diferente composición y de la densidad de siembra en sistema de cultivo semiintensivo. Tesis de Magister Scientia. Facultad de Agronomía, UBA.
- Wicki, G. y Luchini, L. (2002). Ensayo experimental de engorde de Pacú (Pisces, characidae) en sistema intensivo en jaulas suspendidas, a dos diferentes densidades. Dirección de Acuicultura, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA). 1-8 p.