



Universidad Nacional del Nordeste

Facultad de Ciencias Veterinarias

Corrientes - Argentina

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
-MÓDULO DE INTENSIFICACIÓN PRÁCTICA-

OPCIÓN: PRODUCCIÓN ANIMAL

TEMA: Parámetros productivos de dos especies de peces autóctonos (*Piaractus mesopotamicus* y *Prochilodus lineatus*) en un sistema acuaponía con lechuga (*Lactuca sativa* sp)

TUTOR EXTERNO: M.V Sánchez, Sebastián

TUTOR INTERNO: M.V González, Alfredo

RESIDENTE: González, Luis Sebastián

-2020-

Índice

Introducción.....	2
Objetivos.....	6
Materiales y Métodos.....	6
Discusión	17
Conclusión.....	23
Bibliografía.....	24

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

INTRODUCCION

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible ofrece una visión de un mundo justo y sostenible, libre de pobreza, hambre y malnutrición y 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 FAO de 1995 (FAO, (s.f.), 2018). La producción pesquera mundial alcanzó un máximo de aproximadamente 171 millones de toneladas en 2016, de los cuales la acuicultura representó un 47% del total y un 53% si se excluyen los usos no alimentarios (harina y aceite de pescado), superando de esta manera a la pesca por captura (Fao,2018). Entre 1961 y 2016, el aumento anual medio del consumo mundial de pescado comestible (3,2%) superó al crecimiento de la población (1,6%) y también al de la carne procedente de todos los animales terrestres juntos (2,8%). En términos per cápita, el consumo de pescado comestible aumentó de 9,0 kg en 1961 a 20,2 kg en 2015, a una tasa media de aproximadamente un 1,5% al año. Las estimaciones preliminares relativas a los años 2016 y 2017 apuntan a un nuevo aumento hasta alcanzar unos 20,3 kg y 20,5 kg, respectivamente. En 2015, el pescado representó alrededor del 17% de la proteína animal consumida por la población mundial (FAO, 2018). Las proyecciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (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).

Lo antes mencionado, lleva a que los esfuerzos de investigación se orienten hacia la optimización de los recursos en las diferentes etapas de producción, con el objeto de maximizar los beneficios económicos, buscando minimizar el impacto ambiental y al mismo tiempo aplicar las normas de bienestar animal (Silva *et al.*, 2013; Rakocy, 2012).

Los métodos de producción en acuicultura se han ido intensificando en respuesta al aumento de la demanda de productos de este origen. Si la intensificación de la producción de peces es manejada de manera inadecuada, se puede llegar a generar un impacto ambiental en términos de generación de desechos y uso irracional del agua. Una alternativa, cada vez más presente, para minimizar los impactos ambientales producidos por esta actividad, es proceder a la reutilización del agua; racionalizando este recurso natural, esencial y cada vez más escaso, en términos cualitativos (Silva *et al.*, 2013). 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 *et al.*, 1993, 2006).

Hoy a nivel mundial se emplea del concepto MTD (Mejor Tecnología Disponible o BAT – (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, lo plantea como un objetivo político fundamental para 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).

Cultivos que utilizan estos sistemas son considerados por muchos especialistas como los medios de producción de peces promisorios para el futuro, por las exigencias legales de reducción del consumo de agua y los conflictos de la piscicultura tradicional (Heldbo, 2015).

En sistemas de producción tradicionales (estanques excavados), el aporte significativo de nutrientes y materia orgánica de las raciones alimentarias, podría determinar un exceso de fitoplancton, una baja concentración de oxígeno disuelto, una alta concentración de amoníaco o condiciones no satisfactorias en el sedimento de los fondos (además se produce aporte de material originado en la erosión de los taludes de los estanques) y también altas concentraciones de sólidos en suspensión en el agua. 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 (Silva *et al.*, 2013).

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 la Dirección de Acuicultura (2017).

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 tierras, lo que minimiza el impacto de la actividad acuícola sobre el ambiente de forma permanente y permite reutilizar el agua de los sistemas acuáticos. 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- Tavares *et al.*, 2002, 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 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 hidropónico 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 (Diver, 2006; Somerville *et al.*, 2014; Rakocy *et al.*, 1993, 1999, 2006; Caló, 2011).

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 -Tavares *et al.*, 2002).

Hay otro grupo importante de bacterias, así como otros microorganismos, que participan en la acuaponía, generalmente denominados heterótrofos. Estos organismos utilizan el carbono orgánico como su fuente de alimento, y están principalmente involucrados en la descomposición de sólidos y residuos vegetales, proceso denominado mineralización. Por lo tanto, en una unidad de acuaponía, el biofiltro es un componente específicamente instalado para albergar la mayoría de las bacterias que actúan en el proceso. Las bacterias nitrificantes son relativamente lentas de reproducirse y establecer colonias, requieren días y a veces semanas, y por lo tanto, es uno de los parámetros de gestión más importantes a establecer (Diver, 2006; Somerville *et al.*, 2014).

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.

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. En la parte superior de estos canales se realizan aberturas equidistantes unas de otras donde se ubican las plantas, colocadas dentro de pequeños vasos plásticos sin fondo, rellenos con goma espuma como medio de sostén, dejando las raíces de las mismas en contacto directo con el agua circulante. Los canales de cultivo se apoyan sobre caballetes, pudiendo tener una ligera pendiente o desnivel (0,5-1%), lo que facilita la circulación del agua con la solución nutritiva. Esta recirculación mantiene a las raíces en contacto permanente con la solución, favoreciendo la oxigenación de las mismas y un suministro adecuado de nutrientes minerales para el desarrollo de las plantas.

El desconocimiento de la aplicación de 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 sufrir 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 (Santiron, *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 acuaponia 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 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 acuaponia 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 y Sánchez, 2007; Roux, *et al.*, 2015, Comolli, *et al.*, 2019; Rosemberg *et al.*,

2001; Colombo *et al.*, 2000; Wicki y Luchini, 2002; Ortiz, *et al.*, 2005, 2008; Hernández, *et al.*, 2015; González, *et al.*, 2007; Espinach Ros, *et al.*, 1984;

En este trabajo final de graduación se analizan datos obtenidos de un ensayo realizado en el marco de un proyecto de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNNE PI 16 B002. “Policultivo de juveniles de pacú y sábalo en un sistema de cultivo acuapónico: adaptación a la región NEA, optimización con el agregado de microorganismos nitrificantes y escalamiento a mediana escala.”

Objetivo General

Analizar los datos obtenidos en un sistema de cultivo de pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y sábalo (*Prochilodus lineatus*) asociados a una producción hidropónica de hortalizas, utilizando microorganismos que conviertan los residuos de la producción de peces en solución nutritiva para el sistema hidropónico.

Objetivos Específicos

- 1- Analizar la composición química y física del agua en relación a las diferentes etapas de crecimiento de los peces de las diferentes especies.
- 2- Analizar variables productivas en peces y plantas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los ensayos se llevaron a cabo en las instalaciones de piscicultura experimental del Instituto de Ictiología del Nordeste (INICNE), dependiente de la Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Nordeste-UNNE (Corrientes, Argentina).

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, dos para pacú: M: 2 y 3 y dos para sábalo: M: 1 y 4, constituidos cada uno por un tanque de capacidad máxima de 1000 L (fluctuando entre 500-700l de agua, al funcionar el sistema) donde estaban los peces, un tanque de 200 L, para cada módulo ubicado por fuera del invernadero y 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 por modulo. El movimiento del agua para la oxigenación y movilización de los nutrientes a las plantas 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 este 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 por 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). Para la construcción de las unidades se armó una infraestructura con caños de PVC de un diámetro de 110mm, llamados canales de cultivo. Estos caños contaban con tapas en los extremos, perforadas a una altura tal que permita la circulación de una película de agua, y manteniendo a las raíces en contacto permanente con la solución, favoreciendo la oxigenación de las mismas y un suministro adecuado de nutrientes minerales para el desarrollo de las plantas. En la parte superior de los canales de cultivo se realizaron aberturas equidistantes unas de otras cada 25 cm donde se ubicaron las plantas, colocadas dentro de pequeños vasos plásticos sin fondo, rellenos con goma espuma como medio de sostén, dejando las raíces de las mismas en contacto directo con el agua circulante. Los canales de cultivo se apoyaron sobre caballetes, pudiendo tener una ligera pendiente o desnivel (0,5-1%), lo que facilitó la circulación del agua con la solución nutritiva.

Se utilizaron peces juveniles con un peso medio de 58 grs.(rango entre 40–102) para los sábalos y 64 grs. (rango entre 180-67) para pacú, a una biomasa inicial de 3000 grs para ambos grupos. Se los alimentó dos veces al día con una ración balanceada comercial

conteniendo 32% de proteínas, 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 gr de alimento ofrecido a los peces pueden sustentar 1m² de lechugas plantadas a una distancia de 25 cm entre sí. 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, Fosforo y Potasio, para ello se obtuvieron tres muestras por modulo; de los tanques de peces, a la salida de los biofiltros y a la salida de los canales de cultivo.

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:

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

- Biomasa Final (BF), utilizando la siguiente fórmula:
BF= PF * (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 mg durante un período de tiempo determinado (T).

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 (gr): se pesará el total de las hojas.
 - Peso seco de las hojas (g): se llevarán a secado en estufa a 60 °C hasta alcanzar peso seco constante, una vez secas se determinará su peso.
 - Relación porcentual entre el peso de la parte aérea y el de la raíz.
- Los datos fueron cargados a planillas de Excel utilizándose el mismo programa para realizar su análisis.

Resultados

Los datos analizados correspondieron a un ensayo realizado desde el 26/10/2019 al 03/12/2019, con una duración de 37 días, en el marco de un proyecto de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNNE PI 16 B002. “Policultivo de juveniles de pacú y sábalo en un sistema de cultivo acuapónico: adaptación a la región NEA, optimización con el agregado de microorganismos nitrificantes y escalamiento a mediana escala.”

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 (Tablas 1, 2 y 3).

Tabla 1: Valores parámetros de calidad de agua de los tanques de peces.

FECHA	ESTANQUE	HORA AM	HORA PM	T° AMBIENTE	T° AGUA	pH	OXIGENO %	OXIGENO mg/L	CONDUCT.
07/10/2019	1	9		27	26,4	7,02	82,3	7,1	355
26/10/2019	1		17	35	26,7	6,99	80	6,45	368
08/11/2019	1	9,3		33	25	6,8	80,8	6,64	372
12/11/2019	1		17	38	28,6	6,97	56,5	4,35	404
23/11/2019	1		16	32,5	27,6	7,38	84	6,61	327
28/11/2019	1	9,3		29	22,6	7,04	86,1	7,4	325
07/10/2019	2	9		27	25,8	7	74,5	6,39	470
26/10/2019	2		17	35	26,5	7,01	77,3	5,89	489
08/11/2019	2	9,3		33	25,2	6,3	71,7	5,87	296
12/11/2019	2		17	38	28,5	6,65	45,9	3,54	351
23/11/2019	2		16	32,5	27,3	7,09	80,4	6,33	332
28/11/2019	2	9,3		29	22,6	6,76	73,8	6,33	340
07/10/2019	3	9		27	25,3	7,06	80,1	6,86	435
26/10/2019	3		17	35	26,8	6,95	79,2	6,1	490
08/11/2019	3	9,3		33	25,5	6,3	70,7	5,75	253
12/11/2019	3		17	38	28,5	6,67	44,5	3,43	306
23/11/2019	3		16	32,5	26,8	7,02	76,5	6,1	226
28/11/2019	3	9,3		29	22,7	6,97	65,5	5,63	221
07/10/2019	4	9		27	25,6	7	81,6	6,98	502
26/10/2019	4		17	35	26,4	6,97	73,6	5,24	515
08/11/2019	4	9,3		33	25,1	6,48	73,1	6	311
12/11/2019	4		17	38	28,7	7	49,1	3,78	347
23/11/2019	4		16	32,5	26,9	7,03	78,4	6,21	231
28/11/2019	4	9,3		29	22,9	6,99	76,1	6,48	207

Tabla 2: Valores parámetros de calidad de agua de los canales de cultivo.

DIA	PLANTAS S/A	HORA AM	HORA PM	TEMP. AIRE	TEMP. AGUA	Ph	OXIGENO %	OXIGEN mg/L	CONDUCT
26/10/2019	1		17	35	27,2	7,03	78	6,25	360
08/11/2019	1	9,3		33	26,6	6,48	40,3	3,21	373
12/11/2019	1		17	38	29,8	6,91	43,1	3,28	406
23/11/2019	1		16	32,5	28,2	7,15	41,1	3,16	323
28/11/2019	1	9,3		29	23,7	7,08	48,3	4,07	321
26/10/2019	2		17	35	26,9	7,01	75,4	5,39	492
08/11/2019	2	9,3		33	26,4	6,35	59,5	4,77	295
12/11/2019	2		17	38	29,7	6,63	34,4	2,6	357
23/11/2019	2		16	32,5	28,1	7,1	71,5	5,56	330
28/11/2019	2	9,3		29	23,4	6,92	64,9	5,5	336
26/10/2019	3		17	35	27	6,99	73,6	5,12	500
08/11/2019	3	9,3		33	26,6	6,35	54	4,3	257
12/11/2019	3		17	38	30,1	6,74	48,1	3,76	308
23/11/2019	3		16	32,5	29,3	6,95	42,2	3,23	227
28/11/2019	3	9,3		29	23,8	6,82	61,5	5,15	216
26/10/2019	4		17	35	27,1	7,01	74	5,27	518
08/11/2019	4	9,3		33	26,6	6,47	43,6	3,48	321
12/11/2019	4		17	38	29,7	6,91	45,6	3,68	351
23/11/2019	4		16	32,5	27,9	6,95	51,2	3,99	229
28/11/2019	4	9,3		29	23,9	6,98	56,4	4,25	203

Tabla 3: Valores promedios de parámetros de calidad de agua de los tanques de peces y de los canales de cultivo.

TRATAMIENTOS	TEMP. AIRE	TEMP. AGUA	Ph	OXIGENO %	OXIGEN mg/L	CONDUCT
PECES 1	32,4	26,1	7	78,2	6,4	358,5
PLANTAS 1	33,5	27,1	6,9	47,5	3,9	356,6
PECES 2	32,4	25,9	6,8	70,6	5,7	379,6
PLANTAS 2	33,5	26,9	6,8	61,1	4,7	362
PECES 3	32,4	25,9	6,8	69,4	5,6	321,8
PLANTAS 3	33,5	27,3	6,7	55,8	4,3	301,6
PECES 4	32,4	25,9	6,9	71,9	5,7	352,1
PLANTAS 4	33,5	28,6	6,8	54,1	4,1	324,4

La temperatura ambiente, registrada dentro del invernadero, osciló entre los 27 y 38°C, con un promedio para todo el ciclo de 32,6°C (Gráfico 1). La temperatura del agua fluctuó entre 22,9 y 28,5°C, con promedio de 26°C para los peces y entre 23,4 y 30,1°C con promedio de 27,1°C en el sector de plantas (Gráficos 2 y 3). El pH tuvo poca variación entre los tanques de peces y canales de cultivo de las hortalizas, arrojando valores de 6,35 - 7,38 con promedio de 6,8, (Gráficos 4 y 5). Fue la concentración de oxígeno donde más notorias fueron las diferencias en los diferentes módulos, 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 (Gráficos 6, 7, 8 y 9). La conductividad fue disminuyendo con el avance del ensayo y variable en los diferentes módulos, con valores generales que oscilaron entre 207 – 515 $\mu\text{s}/\text{seg}$, con promedio de 353 $\mu\text{s}/\text{seg}$, un comportamiento distinto se dio en el módulo 1 que fue en aumento al comienzo y disminuye al final del ensayo (Gráficos 10 y 11). Esta variación no se registra tanto entre tanques de peces y canales de cultivo de un mismo módulo (Tabla 3).

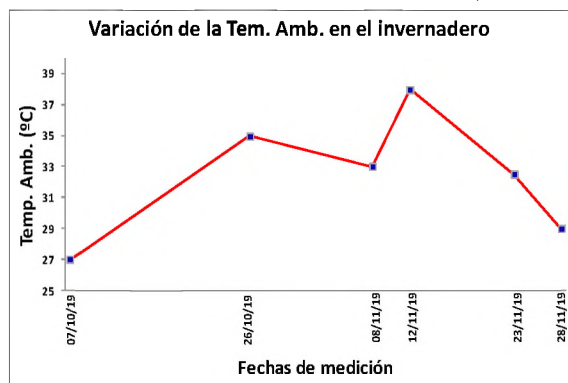


Gráfico 1: Temperatura ambiente registrada en el invernadero.

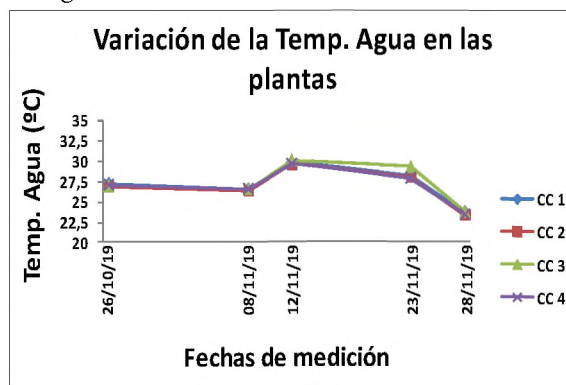
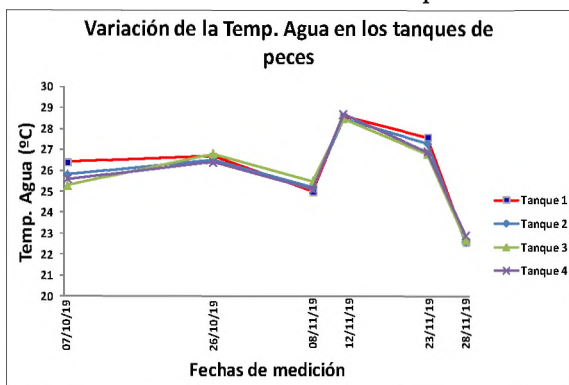


Gráfico 2: T° del agua en los tanques de peces (TP)

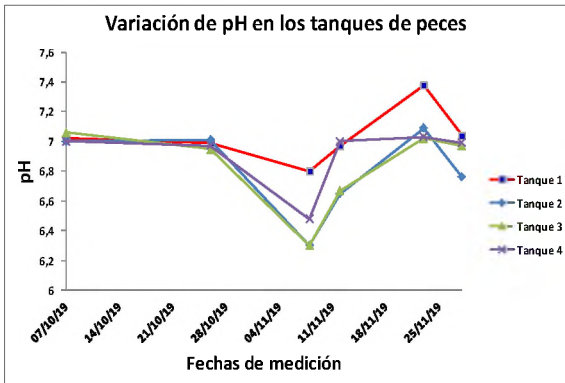


Gráfico 3: T° del agua en los canales de cultivo (SP)

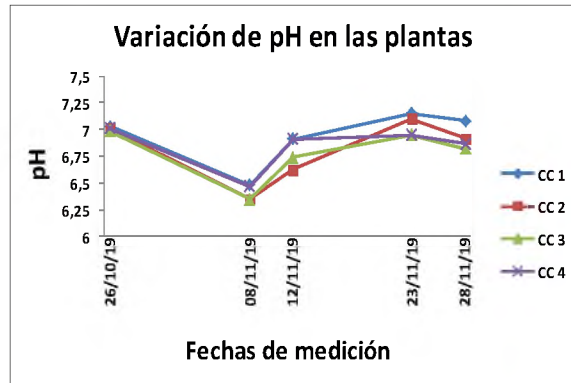


Gráfico 4: pH en los TP

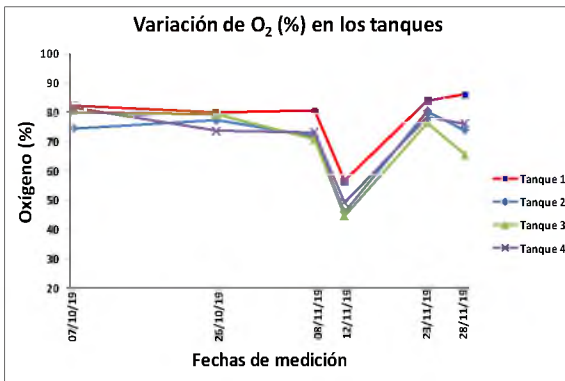


Gráfico 5: pH en SP

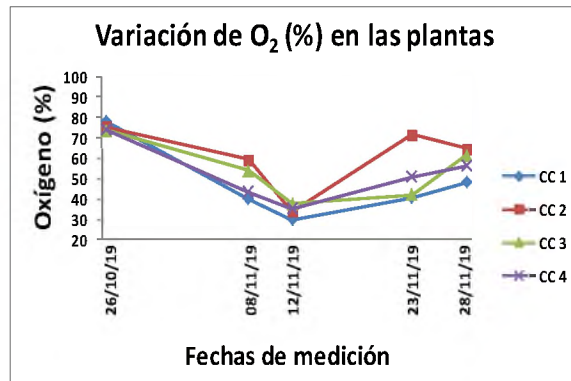


Gráfico 6: O2 % en TP

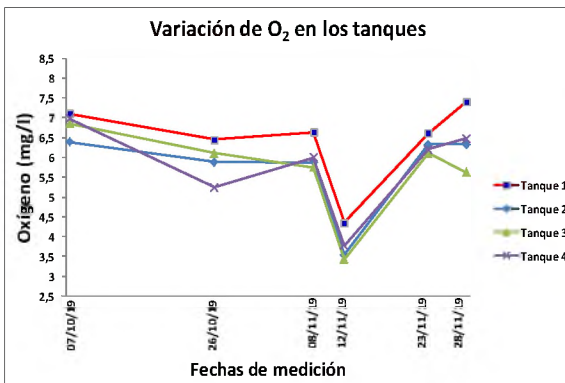


Gráfico 7: O2 % en SP

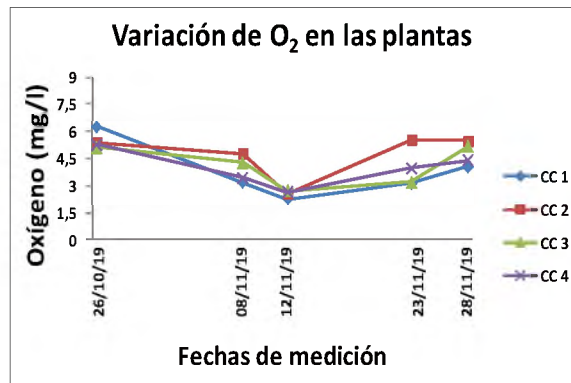


Gráfico 8: O2 mg/l TP

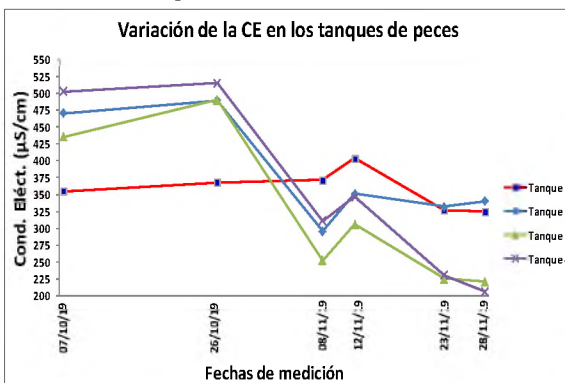


Gráfico 9: O2 mg/l SP

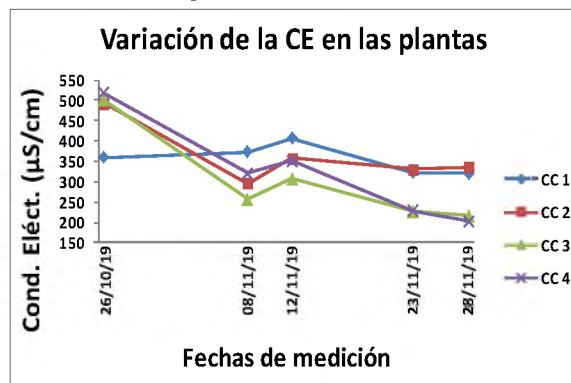


Gráfico 10: Conductividad eléctrica µs/seg en TP

Gráfico 11: Conductividad eléctrica µs/seg en SP

En referencia a los resultados de los parámetros de la serie nitrogenada (Amonio, Nitrito, Nitrato) y de Fosforo (P) y Potasio (K), y analizados por fecha, vemos 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 sábalos, con valores entre 24 y 25 mg/l que se mide el 14/11/19 y normalizándose en las mediciones del 27/11/19 (Grafico 12). El nitrito también fue en aumento 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 (Grafico 13). 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 (Grafico 14). En cuanto al fosforo 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 en TP2 y SB2 respectivamente al final del ensayo (27/11/19), (Grafico 15). 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 10mg/l, los valores máximos se dieron en el módulo 2 que osciló entre 45 y 50 mg/l (Grafico 16).

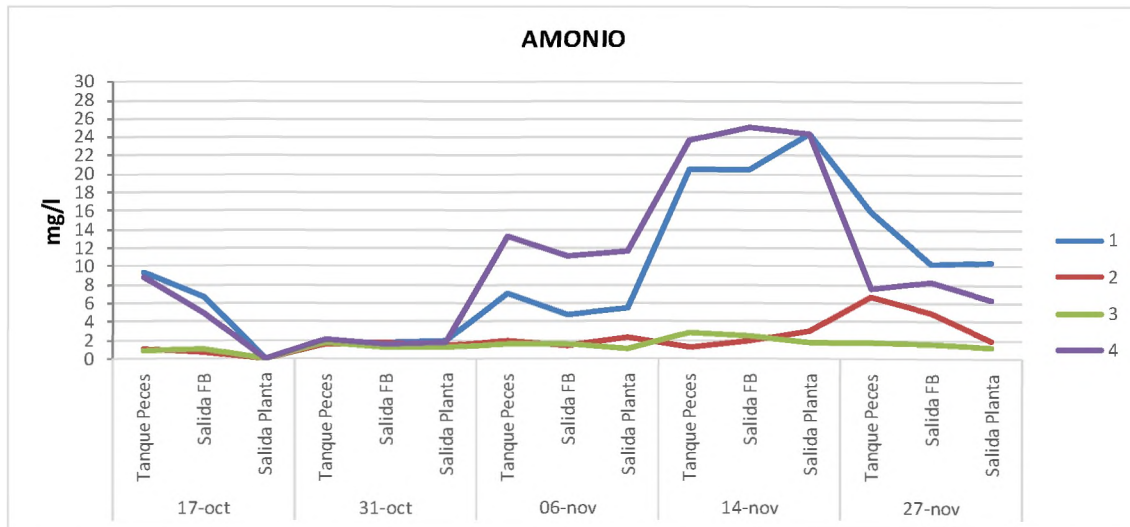


Grafico 12: Concentraciones de Amonio en Tanques peces (TP), Salida Filtro Biológico (FB) y Salida de Plantas (SP), por fechas y módulos.

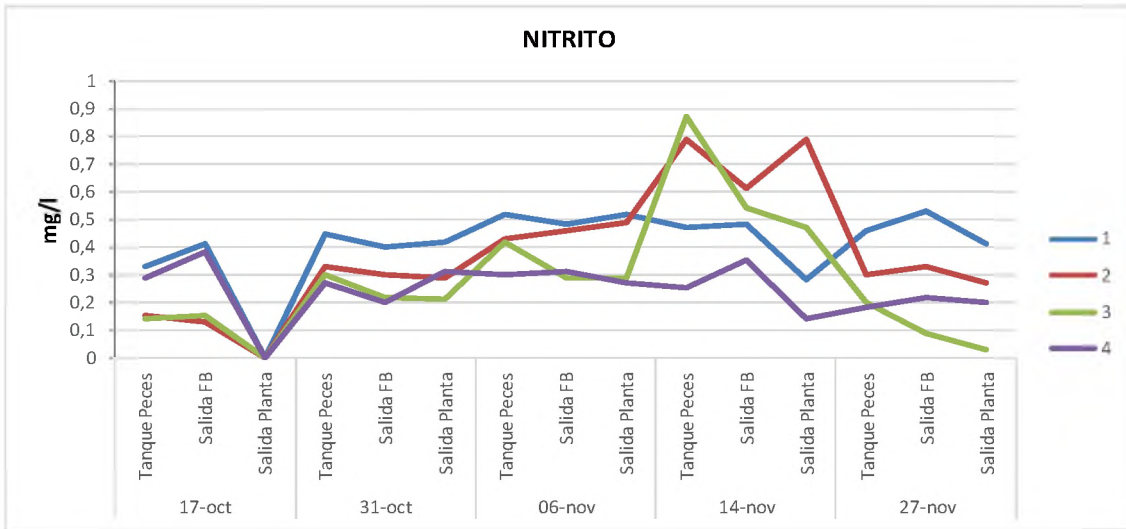


Grafico 13: Concentraciones de Nitrito en TP, FB y SP por fechas y módulos.

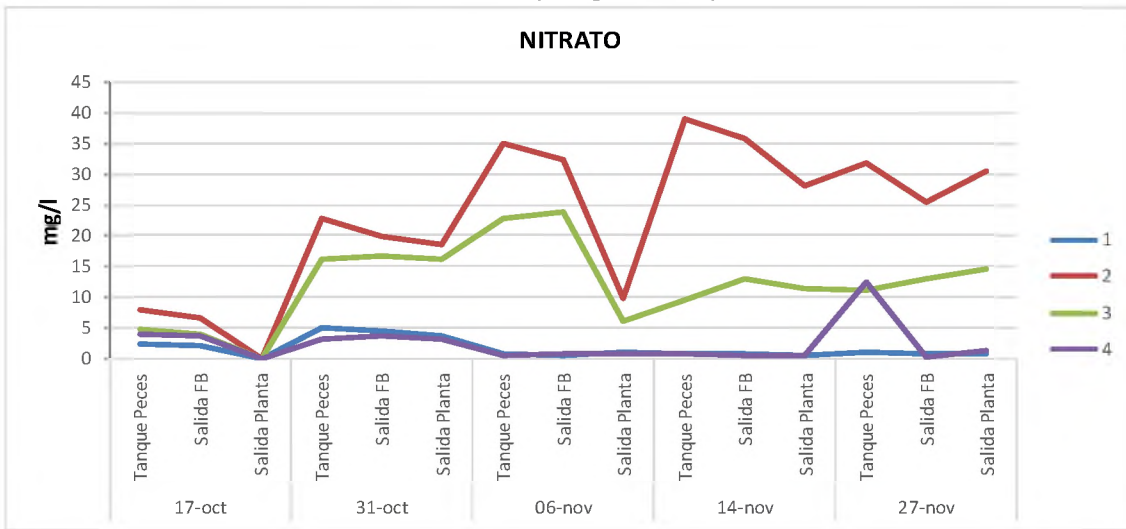


Grafico 14: Concentraciones de Nitrito en TP, FB y SP por fechas y módulos.

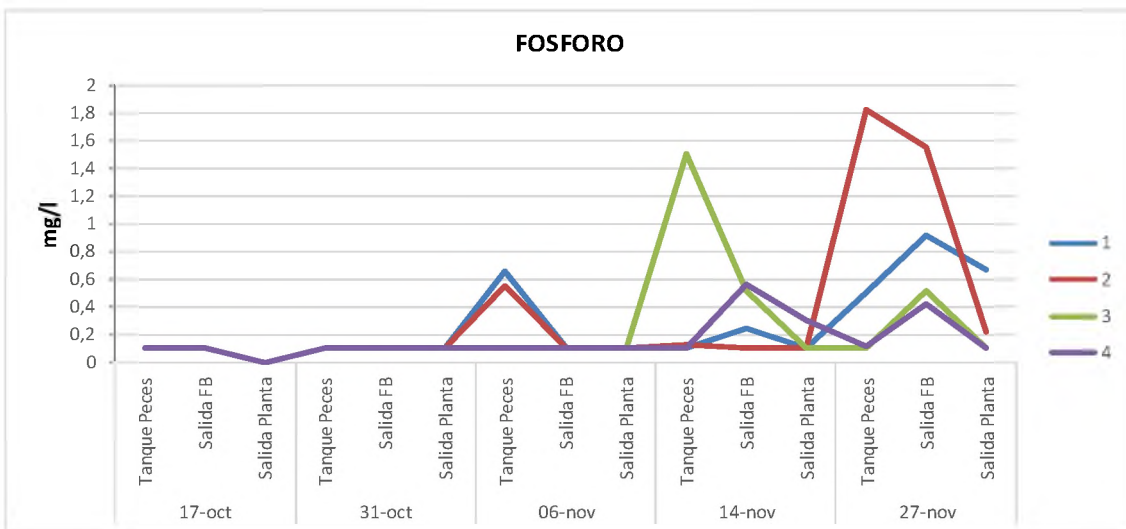


Grafico 15: Concentraciones de Fosforo en TP, FB y SP por fechas y módulos.

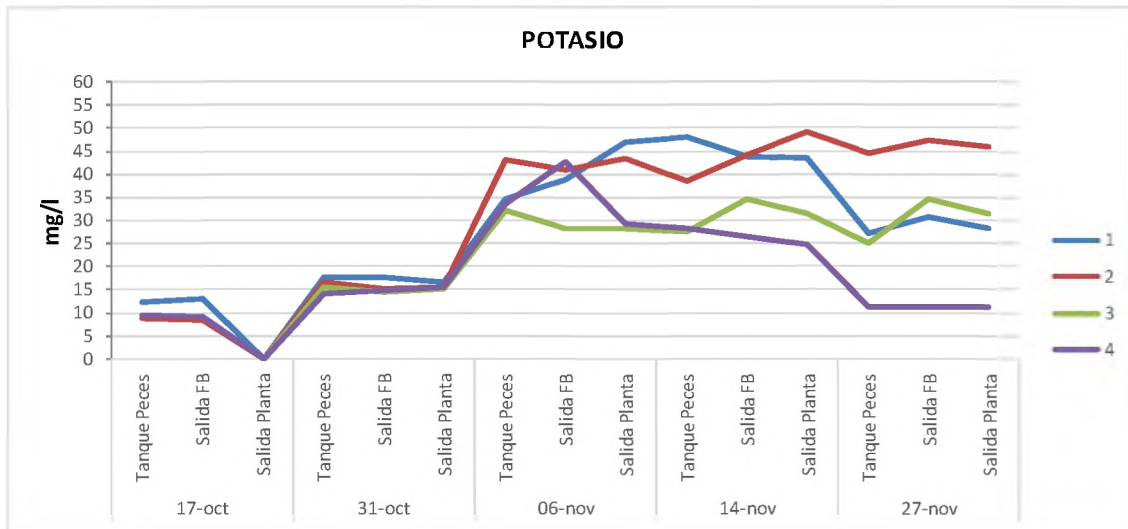


Grafico 16: Concentraciones de Potasio en TP, FB y SP por fechas y módulos.

Respecto a los índices productivos de los peces se vio un mejor desempeño en el pacú que en sábalo, ambos iniciaron el ensayo con una biomasa de 3000 gr, obteniéndose después de 37 días una biomasa de 6900 y 6930grs para los módulos 2 y 3 de pacú y 4780 y 5090grs para los módulos 2 y 4 de sábalo, respectivamente (Gráfico 17), con una biomasa producida de 3900gr para pacú 2 (P2), 3930gr para P3, de 1780gr para sábalo 1 (S1) y de 2090gr para S2 (correspondiente a M4), (Figura 18). La Ganancia de Peso (GDP) fue de 102,6g, 103,4g, 46,8g y 55g para P1, P2, S1y S2, respectivamente (Gráfico19). La Tasa de Crecimiento Específico (TCE) fue de 1,2; 1,3; 2,1 y 2,2% para S1, S2, P1 y P2, respectivamente (Figura 20). La sobrevivencia fue del 100 % en todos los tratamientos.

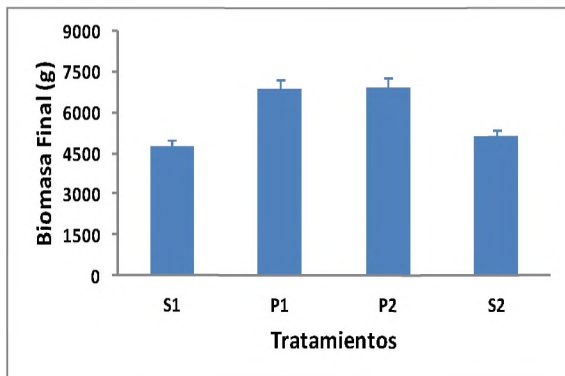


Figura 17: Biomasa final sábalo (S) y pacú (P)

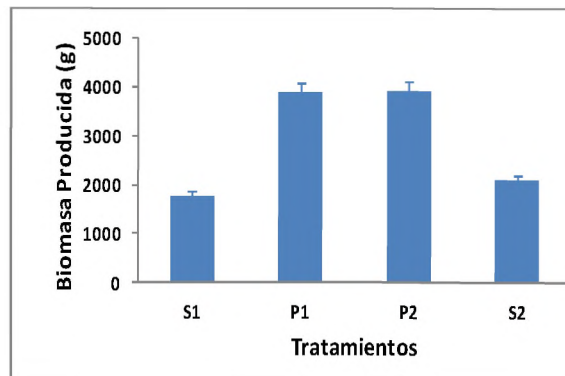


Figura 18: Biomasa producida sábalo (S) y pacú (P)

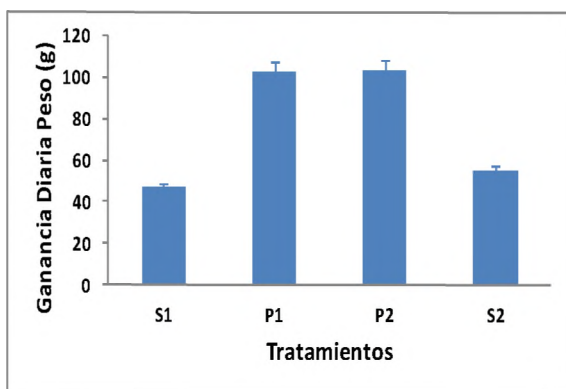


Figura 19: GDP sábalo (S) y pacú (P)

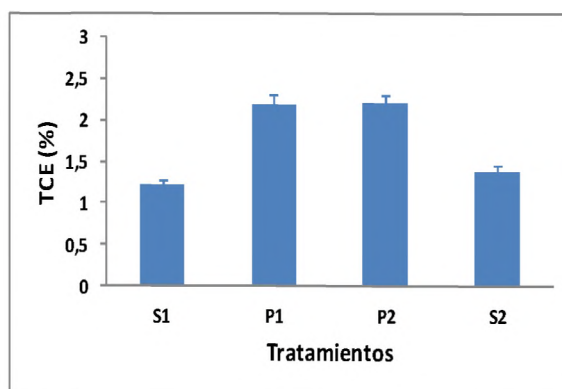


Figura 20: TCE sábalo (S) y pacú (P)

En relación de los datos de producción de la lechuga, vemos en la Tabla 4, como fue 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.

Promedios Fechas	MODULO 1		MODULO 2		MODULO 3		MODULO 4	
	Long raíz	Nº hoja	Long raíz	Nº hoja	Long raíz	Nº hoja	Long raíz	Nº hoja
26/10/2019	2,17	3,25	2,25	3,08	2,79	3,50	2,83	3,42
30/10/2019	3,98	5,50	3,17	5,08	3,68	5,42	3,23	5,08
04/11/2019	5,42	6,83	5,96	6,25	5,03	7,12	5,14	7,42
08/11/2019	7,33	7,95	6,79	7,12	7,00	8,54	7,19	9,67
12/11/2019	9,10	8,17	8,54	7,62	8,82	9,95	9,01	11,58
16/11/2019	11,23	9,92	9,87	8,33	10,11	10,03	10,48	13,94
22/11/2019	12,75	12,92	10,82	10,92	12,73	11,42	12,67	15,38
27/11/2019	14,28	15,08	12,16	12,42	14,20	14,17	15,32	16,42

Tabla 4: Longitud de raíz expresada en cm y N° de hojas de lechuga

Se trasplantaron 58 plantines por módulo, al momento de la cosecha se observan diferencias en los 4 módulos, obteniéndose un promedio de peso total mayor en el módulo 4 con 184grs y un bajo rendimiento en el módulo 2 con 84grs (Grafico 21). La Biomasa total fue de 7.482, 4.872, 8.584 y 10.672 grs para los módulos 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Con respecto al N° de hojas vemos que los Módulos 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 (Grafico 22). 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, (Gráficos 23-24)

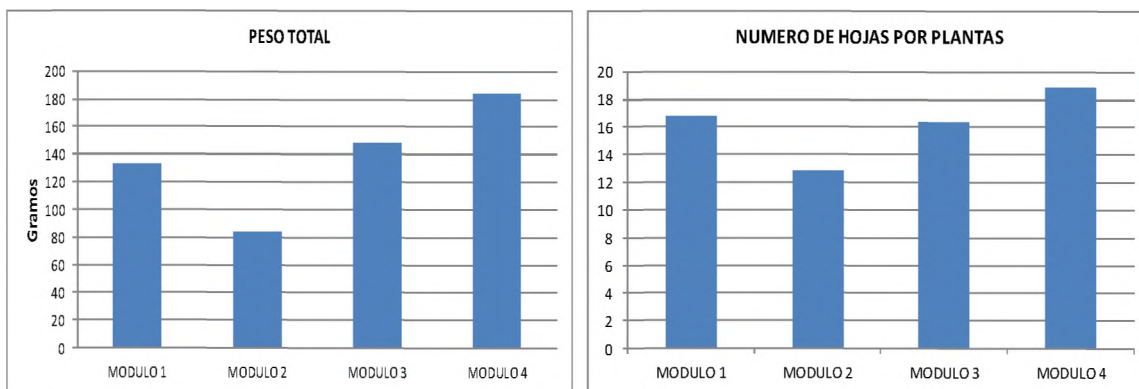


Gráfico 21: Peso promedio de plantas de lechuga en grs Gráfico 22: N° de hojas por plantas en la cosecha

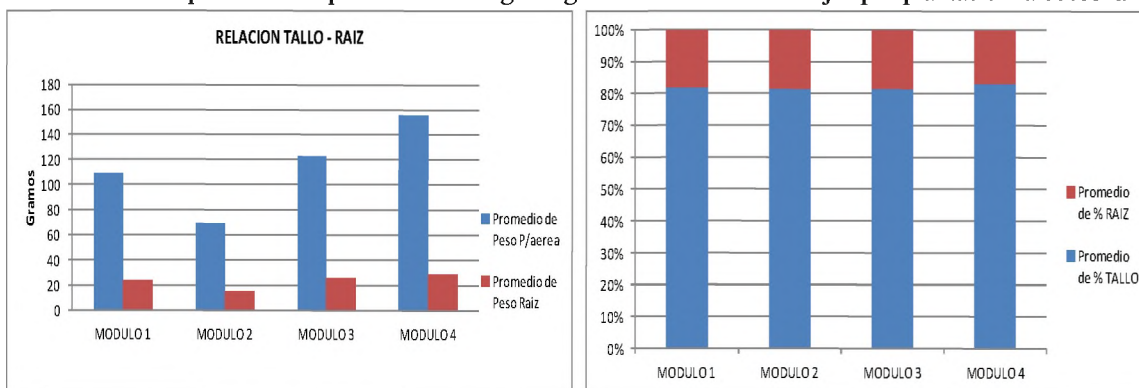


Gráfico 23: Relación parte aérea planta y raíz en grs. Gráfico 24: Relación porcentual de parte aérea y raíz

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), por eso la determinación periódica de los parámetros de calidad de agua es una herramienta importante para monitorear la calidad del sistema de cultivo, ya que en el medio acuático los peces satisfacen sus necesidades e intercambio gaseoso e iónico para el mantenimiento de la presión osmótica (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, *et al.*, 2003 y Ortiz, *et al.*, 2008 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 SP está por debajo de los aceptados para las plantas y en el 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 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 (NH_3), 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. Problemas con amonio y nitrito generalmente ocurren en cultivos intensivos, y son raros en estanques o viveros de tierra. El amonio total engloba al NH_3 , que es un gas tóxico y al ion amonio NH_4 , que es menos tóxico y es la forma en que circula en la sangre, pero para ser eliminado por las branquias de los peces se transforma en NH_3 que difunde por diferencia de gradiente. De acuerdo con el pH del agua el nitrito puede estar presente en dos formas: HNO_2 (ácido nitroso) o NO_2 (ion nitrito), con valores de pH por encima de 5,5 prácticamente no existe la forma de ácido nitroso, por lo tanto en ambientes de cultivo de peces donde el pH está entre 6 o 10, la toxicidad del nitrito será provocada exclusivamente por el ion nitrito. En relación al nitrato, este compuesto está en el agua en forma de ion NO_3 . La fuente de amonio, y consecuentemente la de nitrito y nitrato provienen del metabolismo de las proteínas y de la descomposición de residuos orgánicos por bacterias heterotróficas de heces, sobra de ración, mucus eliminado por los peces, microalgas y bacterias muertas, etc. En cambio el nitrito y el nitrato provienen de la oxidación bacteriana del amonio, que primero por acción de las bacterias autotróficas o nitrificadora como las Nitrosomonas, lo oxidan a nitrito, que es muy tóxico, y las bacterias del género Nitrobacter oxidan a este a la forma de nitrato, no tóxica (Kubitza, 2013, 2017b, Sipaúba, 2013).

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 realizado vemos que los valores obtenidos son superiores a los de referencia tanto en los TP, SB o SP (Gráfico 12), 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, 2017, Somerville, *et al.*, 2014, Sipaúba, 2013). Domínguez Castanedo y Martínez Espinosa, 2012 llegan a las mismas conclusiones en su trabajo de cría de pacú en 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 sábalos 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 *et al.*, 1993, 2006, Colagrosso, 2014, Semorville, *et al.*, 2014). Mello Pinho, *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 por Farmer *et al.*, 2011 y Evans *et al.*, 2006, citados por Kubitza (2017), 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 desafiado con la bacteria *Flavobacterium columnare*, no observaron 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*. 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.

El nitrito es un metabolito intermedio en el proceso de oxidación de amonio a nitrato y es una molécula inestable. En la sangre de los peces el nitrito se liga a la hemoglobina, la que pierde capacidad de transporte de oxígeno, confiriéndole a la sangre una coloración marrón. El nitrito oxida al ion hierro presente en la hemoglobina, de ahí también el nombre de ferrihemoglobina o metahemoglobina. Cuando el porcentaje 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 24hs. 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. La molécula de nitrito contiene aproximadamente 30% de nitrógeno (1 mg NO₂ = 0,30 mg de N-NO₂) (Kubitza, 2013, 2017, Sipaúba, 2013, Fernández Cirelli, *et al.*, 2010). 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 5,6mg/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 toxico 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 (Kubitza, 2013, 2017b, Sipaúba, 2013, Fernández Cirelli, *et al.*, 2010), 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, 2017). 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 arcoíris 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. Los síntomas más acusados fueron la natación más rápida de lo normal, la cual provoca mayor demanda de oxígeno, con ello, acumulación de ácido láctico en el tejido muscular, cansancio e incluso deformidades que contribuyen a la natación lateral.

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 los parámetros de crecimiento, supervivencia y comportamiento (Santinón *et al.*, 2012). Si bien solo encontramos un estudio de literatura relacionado con el pacú criado en el sistema de acuaponía (Mello Pinho *et al.*, 2017), los resultados obtenidos en nuestros ensayos son coincidentes con los obtenidos por ese autor que también tuvieron una TCE del 2,3%, y una similar biomasa final, también trabajando con juveniles pero con un peso inferior al nuestro (33 gr); 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 (*Piaractus mesopotamicus*) cultivado en biofloc. El porcentaje de crecimiento obtenido en este trabajo, 133 y 130% en la biomasa fue superior a los obtenidos por Dominguez *et al.*, (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 gr, 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%, Bechara *et al.*, (1999), que documentan en *P. mesopotamicus* una ganancia 97,3%, con 40% de proteína en sistema semi intensivo, y un porcentaje inferior lo reporta Roux y Bechara (1998) en un trabajo de engorde de pacú

en estanques. En un sistema acuapónico con *P. brachypomus*, Pilco Vergaray, 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 australiano 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, sábalos 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 sábalos 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 de 0,9%, la sobrevivencia en nuestros ensayos fueron del 100% y una TCE de 1,2 %, pero en policultivo con pacú el Coeficiente de Crecimiento específico (CCE) obtenido es de 1,6%, y si bien la conversión alimenticia estimada en el que presentaba únicamente sábalos 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 supervivencia 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 Emerciano, 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, *et al.*, (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 nuestro trabajo llama la atención 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.

Conclusiones

Dentro del contexto actual, donde enfrentamos una crisis hídrica, geográfica y poblacional, la necesidad de alternativas para satisfacer la demanda de alimento, es eminente. El éxito de estas producciones está relacionado a una necesidad por generar sistemas más eficientes, sustentables y amigables con el medio ambiente, promoviendo una mayor producción en menor espacio y con un marketing para diferenciar este tipo de producto con certificación de producto orgánico. La tecnología para producción de organismos acuáticos en sistemas de recirculación cerrada con tratamiento y reutilización del agua ya es una realidad en diversos países, si bien la bibliografía técnica y científica todavía no es suficiente, es de esperar que en pocos años el mejoramiento en los diseños, los equipos, la tecnología del tratamiento de agua y las estrategias del manejo y cultivo posibiliten que estos sistemas sean implantados y operados con menor costo y mayor eficiencia, incidiendo en la producción de organismos acuáticos a un precio compatible con el obtenido en otros sistemas de cultivo. 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.

Bibliografía

- Álvarez, J, Tello, S, Tello, H, y Campos, L. 2008. Estrategia De Desarrollo De La Acuicultura En La Región Loreto (en línea). Lima, TRADINGCONSULT. Revisado el 12 de julio del 2016. Disponible en: <http://www.mincetur.gob.pe/Comercio/ueperu/licitacion/pdfs/Informes/19.pdf>.
- Bechara, A.J., C.A. Longoni, C.Q. Flores, J.P. Roux, H.A. Domitrovic & F.D. Ruíz. 1999. Efecto de la proporción de proteína del alimento sobre el crecimiento y la composición bioquímica de la carne del Pacú (*Piaractus mesopotamicus*) en sistemas de cría semiintensivos. Comunicaciones Científicas UNNE. 1999
- Boletín Institucional Dirección de Acuicultura, Dirección de Planificación Pesquera, subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Agosto / Septiembre 2017
- Caló, P. 2011. Introducción a la Acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola-CENADAC. (2011). Dirección de Acuicultura. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación.
- Chaverra Garcés, S. C.; García González, J. J.; 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, vol. 12, núm. 3. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Cohelo Emerenciano, M. G.; Lemos de Mello, G.; Mello Pinho, S.; Mlinari, D.; Blum, M.N., 2015. Aquaponia: uma alternativa de diversificação na aquicultura. Revista Panorama da Aquicultura, Vol. 25, Nº, 147, p: 24-35. Rio de Janeiro, Brasil.
- Colagrosso, A., 2014. Instalación y manejo de sistema de cultivo acuaponico a pequeña escala. Fuente: <http://www.elfinancierocr.com/>
- Colombo, J, C., C. Bilos, M. Remes Lenicov, D. Colautti, P. Landoni y C. Brochu. 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.; Sánchez, S. Roux, J. P. 2019. Larvicultura de sábalo (*Prochilodus lineatus*) con diferentes tiempos en laboratorio y estanque. Agrotecnia 28 : 5-9, 2019.
- Comolli, J.A.; González, A. O.; Agüero, C. H.; Roux, J. P; Sánchez, S. 2016. Larvicultura semi-intensiva de sábalos (*Prochilodus lineatus*) con diferentes regímenes alimenticios. Rev vet 27 (2): 103-106, 2016 www.vet.unne.edu.ar Corrientes, Argentina
- Della Rosa, P; Ortiz, J. C.; Cáceres, A.; Sánchez, S.; 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, 2016.

Della Rosa, P.; Roux, J.P.; Sánchez, S.; Ortiz, J.C.; Domitrovic, H.A. Productividad del sábalo (*Prochilodus lineatus*) cultivado en estanques con diferentes tipos de fondo. Rev vet 25(2): 126-130, 2014 www.vet.unne.edu.ar. Corrientes, Argentina

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. & Martínez Espinosa D. A. 2012. Desempeño de los sistemas acuícolas de recirculación en el cultivo intensivo del Pacú *Piaractus mesopotamicus* (Characiformes: Characidae). Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 60 (1): 381-391, March 2012

Espinach Ros, A.; Hulbert, S. H. & V. G. Amutio. 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. (eds.) 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.

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. Consultado el Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x5685s/x5685s03.htm>

Fernández Cirelli, A.; Schenone, N.; Pérez Carrera, A.; Volpedo, A., 2010. Calidad de agua para la producción de especies animales tradicionales y no tradicionales en Argentina. AUGMDOMUS, 1:45-66, 2010 Asociación de Universidades Grupo Montevideo ISSN:1852-2181

Fernández Lozano, J. 2012. La producción de hortalizas en Argentina. 29 p. Gerencia de Calidad y Tecnología. Mercado Central de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

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.

Goddek, S, Mankasingh, U, Ragnarsdottir, KV, Jijakli H, 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 / Enrique Goites ; edición literaria a cargo de Janine Schonwald. - 1a ed. - Buenos Aires : Inst. Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA, 2008.

González, A.O.; Sánchez, S.; Ortiz, J.C.; Hernández, D.R. & Roux, J.P. 2007b. Utilización de cobertura plástica en estanques de reproductores de pacú (*Piaractus mesopotamicus*). Informe preliminar. XVIII Sesión de Comunicaciones Científicas. Fac. Cs. Veterinarias. UNNE

Guerra Moura E Silva, M.; Losekann, M.; Hisano, H. 2013. Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes / : Embrapa Meio Ambiente, 2013. 39 p. — (Documentos / Embrapa Meio Ambiente; 95).

Heldbo, J. 2015. Sistemas de recirculação: A vanguarda da aquicultura Dinamarquesa. Panorama de Acuicultura. Vol. 25. Nº 148. Pag. 37-45

Hernández, D.R.; Agüero, C.; Santinón, J.J.; González, A.O.; Sánchez, S. 2015. Growth, survival and bone alterations in pacu (*Piaractus mesopotamicus*) larvae in different rearing protocols. Ciência Rural Santa María, Brasil. ISSN 0103-8478.

Kubitza, F. 2013. Qualidade de agua no cultivo de peixe e camaroes. 208p. Jundiai, SP 2013. ISBN 978-8598-545-08-0

Kubitza, F., 2017a. A agua na aquicultura /parte 1: Oxigenio dissolvido e sua importancia para o desempenho e saude de peixes y camaroes. Revista Panorama de Aquicultura Vol. 27, Nº 162, p. 23 – 33. R.J. Brasil

Kubitza, F., 2017b. pH da agua regula excrecao e toxidez de amonia. Revista Panorama de Aquicultura Vol. 27, Nº 160, p. 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 Vol. 27, Nº 164, p. 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, Kevin M.; & Coelho Emerenciano M. G. 2017. Integrated production of fish (pacu *Piaractus mesopotamicus* and red tilapia *Oreochromis sp.*) with two varieties of garnish (scallion and parsley) in aquaponics system. Aquacult Int. DOI 10.1007/s10499-017-0198. Springer International Publishing AG 2017

Meza Arroyo, M., 2018. Comportamiento de tres tecnicas de cultivohidroponico con lechuga (*Lactuca sativa l.*) en unsistema acuaponico - echarati - la convencion- cusco. Tesis

para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo Tropical. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

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.; Sanchez, S.; Roux, J. P.; Gonzalez, A. O., 2008. Crecimiento compensatorio de juveniles de pacú (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) en diferentes sistemas de alimentación. B. Inst. Pesca, São Paulo, 34(2): 251 - 258, 2008

Ortiz, J.C., Sánchez, S., Roux, J.P. & 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. 2005.

Ortiz, J.C., Sánchez, S., Roux, J.P. & González, A.O. 2008. Efecto de ciclos de ayuno-alimentación sobre el crecimiento de juveniles de pacú (*Piaractus mesopotamicus*). BOLETIM DO INSTITUTO DE PESCA, 34 (2): 251-258. 2008.

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 Autonoma de Chapingo. Mexico.

Pilco Vergaray, J., 2015. Comportamiento productivo de dos densidades de siembra de *Piaractus brachypomus* “paco” en un sistema acuapónico superintensivo, en el Iespbb, 2015. Tesis Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales Yarinacocha – Perú 2015

Poleo, G.; Aranbarrio, J. V.; Mendoza, L. y Romero, O., 2011. Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.46, n.4, p.429-437, abr. 2011.

Rakocy, J. 2012 Aquaponics—integrating fish and plant culture. In: Tidwell JH (ed) Aquaculture production systems, 1st edn. Wiley-Blackwell, Oxford, pp 343–386

Rakocy, J. E.; Masser, M. P.; 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. E.; 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. P.112–36.

Rebaza, C.; Villafana, E.; Rebaza, M.; Deza, S. 2002. Influencia de tres densidades de siembra en el crecimiento de *Piaractus brachypomus*. “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.; 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 (2001)

Roux, J.P.; González, A.O.; Ortiz, J.; Sánchez, S.; Comolli, J. 2015. Larvicultura Intensiva de sábalo *Prochilodus lineatus*) con diferentes densidades de cria. *Revista Veterinaria Fac.de Cs. Veterinarias. UNNE*.

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*, v.6, n.1 y 2, p.65-72.

Santinón, J.J.; Hernández, D.R.; Sánchez, S.; 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, 2012.

Sipaúba, L. H., 2013. Uso racional da agua en aquicultura. UNESP, Campus de Jaboticabal: Maria de Lurdes Brandel –ME-2013.

Sipaúba-Tavares, L. H., Favero, E. G. P., & BRAGA, F. D. S. (2002). Utilization of macrophyte biofilter in effluent from aquaculture: I. Floating plant. *Brazilian Journal of Biology*, 62(4A), 713-723.

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. 2014. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No.589*. Rome, FAO. 262 pp

Sverlij, SB., A.; Espinach Ros,A.; Orti, G. Sinopsis de los datos biológicos y pesqueros del sábalo *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847). *FAO Sinopsis sobre la Pesca*, No.154. Roma, FAO. 1993. 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. & Luchini, L., 2002. Ensayo experimental de engorde de pacu (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.