

NOTA DE INVESTIGACIÓN

RECRÍA DE JUVENILES DE *Piaractus mesopotamicus* (PACÚ) EN SISTEMA ACUAPÓNICO

Breeding of *Piaractus mesopotamicus* (Pacú) in aquaponic system

Santinón, Juan J.^{1,2}; Hernández, David R.²; Ruiz Díaz, Federico J.²; Comolli, Javier A.¹; Sánchez, Sebastián²; Roux, Juan P.^{1,2}; González, Alfredo O.^{1,2}.

¹ Cátedra de Producciones No Tradicionales

² Instituto de Ictiología del Nordeste

Facultad de Ciencias Veterinarias – Universidad Nacional del Nordeste.

Email: juansantinon@gmail.com

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la recría de pacú bajo un sistema de cultivo acuapónico. Se utilizaron 900 juveniles con $10,5 \pm 3,26$ gramos de peso medio inicial, a una densidad inicial de $3,3 \text{ kg/m}^3$. Se evaluó peso medio final, biomasa final, incremento de biomasa diario, ganancia diaria de peso, tasa de crecimiento específico y tasa de supervivencia de los peces. Las plantas de lechuga se cultivaron bajo sistema NFT, evaluándose la biomasa total producida en cada ciclo, número promedio de hojas, peso de la planta entera y relación porcentual entre peso de parte aérea y raíz. El sistema acuapónico contó con cuatro módulos individuales, bajo un invernadero de 48 m^2 de superficie. El ensayo tuvo una duración total de 119 días, durante los cuales se realizaron tres cosechas totales de lechuga. Al final del ensayo, los peces alcanzaron un peso medio final de 98,8 g, una biomasa final de 22.233,8 g, un incremento de biomasa diario de 172,9 g/día, una tasa de crecimiento de 2%/día y 100% de supervivencia en los cuatro módulos. Los módulos hidropónicos obtuvieron una biomasa final promedio de 8.081 g por ciclo, un número promedio de hojas por planta de 13,4, un peso medio de 139,3 g/planta y una relación porcentual entre peso de parte aérea y raíz de 86,8 y 13,2 %, respectivamente. Los resultados obtenidos demuestran la factibilidad de realizar la recría del pacú en sistema acuapónico, obteniéndose altas tasas de crecimiento y excelentes niveles de supervivencia.

Palabras clave: peces, alimentación, hortalizas, recirculación, nutrientes, biofiltro.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate pacu fish re-breeding in an aquaponic system. 900 juvenile pacu with 10.5 ± 3.26 g of initial mean weight were used, at an initial density of 3.3 kg/m^3 . Mean final weight, final biomass, daily biomass increase, daily weight gained, specific growth rate, and fish survival rate were evaluated. Lettuce was cultivated under the NFT system. The total biomass produced in each cycle, the average number of leaves, the weight of the whole plant, and the percentage relationship between the weight of the aerial part and root were evaluated. The aquaponic system consisted of four modules located under a 48 m^2 greenhouse. The trial lasted 119 days, and three lettuce harvests were carried out. At the end of the trial, the fish reached a final average weight of 98.8 g, a final biomass of 22,233.8 g, a daily biomass increment of 172.9 g/day, a specific growth rate of 2 %/day, and 100 % survival in the four modules. Lettuce obtained an average final biomass of 8,081 g per cycle, 13.4 leaves per plant, 139.3 g/plant, and a percentage ratio between aerial part and root weight of 86.8 and 13.2 %, respectively. The results obtained demonstrate rearing pacu juveniles in aquaponic systems feasibility, obtaining high growth rates and excellent survival levels.

Key words: fish, feeding, vegetables, recirculation, nutrients, biofilter.

INTRODUCCIÓN

La producción acuícola mundial evidenció un marcado dinamismo en las últimas décadas. Según la FAO, la producción mundial de la pesca y la acuicultura ha alcanzado unos 179 millones de toneladas en 2018, calculándose una producción de 204 millones de toneladas en 2030, a pesar de considerar una disminución de las capturas de las poblaciones naturales (FAO, 2020). En este sentido, la piscicultura es la generadora de los mayores niveles de producción de agro-alimentos (de alto valor biológico) y de mayor eficiencia alimenticia frente a otras especies de importancia pecuaria, como bovinos y cerdos (Franco Gómez, 2006), demostrando un constante crecimiento (FAO, 2020).

En Argentina, el desarrollo de la piscicultura también se ha incrementado en los últimos años con el empleo de especies autóctonas, tal como el pacú (*Piaractus mesopotamicus*) (MINAGRI, 2013). Sin embargo, la producción de esta especie se realiza principalmente en sistemas semi-intensivos en tanques de tierra con alto insumo de agua (Kubitza, 2003, Arranz y Hennig, 2017). La piscicultura del Pacú en nuestro país se divide en tres etapas: larvicultura hasta 5 a 20 g, recría hasta los 100 a 200 g y engorde hasta el peso de faena. Cada una de estas etapas tiene sus pérdidas asociadas al sistema de cultivo. En general, la recría se realiza en estanques y sus pérdidas varían según el tamaño que se comienza la etapa, Luchini y Wicki (2003) reportan valores de hasta 30 % de mortandad.

Esto exige nuevas estrategias de desarrollo para una acuicultura sostenible. Dentro de estas, se destaca una alternativa cada vez más presente, que es la reutilización del agua. Así surgen los Recirculating Aquaculture System (RAS, por sus siglas en inglés) y recientemente los sistemas basados en el biofloc y la acuaponía, destacándose la utilización de espacios reducidos, eficiencia en el uso del agua (Goddek et al., 2015), más rentables (Pinho et al., 2022) y amigables con el ambiente (Rakocy, 2012; Hao et al., 2020; Baganz et al., 2021).

La acuaponía se basa en la recirculación de agua y baja reposición diaria (menos del 5%), e implica una serie de procesos para mantener su calidad óptima para la producción de organismos acuáticos. Cuenta con un sistema de filtración de agua, utilizando métodos mecánicos, químicos y biológicos y, en algunos casos, luz ultravioleta para esterilizar definitivamente el agua que retorna a los tanques de producción. Además, este sistema cuenta con la asociación con cultivos de vegetales en sistema hidropónico, permitiendo la utilización de la misma agua del sistema de producción de peces. El objetivo principal es la extracción del sistema de los compuestos derivados del nitrógeno, como el nitrato, que en exceso resultan nocivos para los peces en sistemas intensivos (Goddek et al., 2015). Estos sistemas de producción 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).

Si bien en los sistemas hidropónicos se pueden producir todo tipo de vegetales, la lechuga, en sus múltiples variedades, es la hortaliza más producida bajo este sistema (Cohelo Emerciano et al., 2015).

Una alternativa viable para el cultivo acuapónico es la utilización de especies de peces nativas, por ejemplo, el pacú (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887). Esta especie posee una amplia distribución geográfica en América del Sur, siendo cultivado en países como Brasil, Paraguay, Bolivia, Perú y Argentina. Es considerado un pez omnívoro, con tendencia herbívora y frugívora, lo que lo hace una especie muy valiosa para la piscicultura (Souza, 1998).

El objetivo del presente estudio fue determinar si, en condiciones de cultivo acuapónico comercial, el pacú en su fase de recría, es capaz de adaptarse al sistema y alcanzar parámetros de crecimiento y supervivencia que puedan considerarse satisfactorios, tendientes a optimizar las actuales tecnologías de producción. Paralelamente, se buscó comparar estos resultados obtenidos con otros de producción de pacú de forma tradicional.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo es de carácter observacional, por lo que no se realizaron inferencias estadísticas. Los ensayos se llevaron a cabo en las instalaciones de piscicultura experimental del Instituto de Ictiología del Nordeste (INICNE), Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Nordeste (Corrientes, Argentina). Se realizó la recría de juveniles de pacú durante 119 días, abarcando tres etapas relacionadas con la cosecha de las

hortalizas del sistema acuapónico (Etapa A de 44 días, Etapa B de 44 días y Etapa C de 31 días de duración). El modelo experimental estuvo emplazado en un invernadero tipo “Macrotunel”, de 4 m de ancho por 12 m de largo. El sistema acuapónico contó con cuatro módulos individuales (n4), cada uno constituido por un tanque de peces con capacidad máxima de 1.000 L (fluctuando entre 500-700 L de agua, al funcionar el sistema, ya que las bombas de agua trabajaban de manera intermitente). Además, cada módulo contaba con un tanque de 200 L, ubicado a 3 m de altura, que recibía, por bombeo, el agua del tanque de los peces, actuando a su vez como filtro mecánico. Y, por último, un biofiltro de 15 L de capacidad, constituido internamente por piedras tipo pómez (Pomelina) y leca, donde se desarrollaron las bacterias nitrificantes. Estos biofiltros recibían el agua proveniente de los filtros mecánicos y luego drenaban su contenido a los sistemas hidropónicos, los cuales tenían una superficie de 4 m² para cada módulo (Figura 1). El movimiento del agua se realizó con bombas de 0.5 HP. Para la aireación del sistema (tanque de peces y filtros biológicos), se utilizaron piedras difusoras conectadas a bombas aireadores. El agua era bombeada desde el tanque de peces al depósito de 200 L, de ahí pasaba por gravedad al biofiltro y de éste al sistema hidropónico, retornando el agua al tanque de peces también por gravedad, todo regulado por llaves de paso, lo que nos permitió controlar el flujo de agua, equivalente a un caudal de 2 L/minuto en los canales de cultivo. En cada tanque de peces se colocaron 225 juveniles de pacú (900 en total) con un peso medio inicial de $10,5 \pm 3,26$ g, generando una biomasa inicial promedio de 2.351,3 g y una densidad de stock inicial equivalente a 3,3 kg/m³. Se los alimentó dos veces al día con una ración balanceada comercial conteniendo 32% de proteínas, a una tasa del 7% de la biomasa de cada tanque. Cada 15 días se realizaron biometrías para ajustar la cantidad de alimento ofrecido a los peces.

El cultivo de plantas se realizó utilizando el sistema hidropónico denominado Técnica de Película de Nutrientes (NFT, Nutrient Film Technique) con circulación cerrada de agua, reponiéndose solamente el agua perdida por evaporación y la consumida por las plantas. Para la construcción del sistema NFT se utilizaron caños de PVC de 110 mm de diámetro.

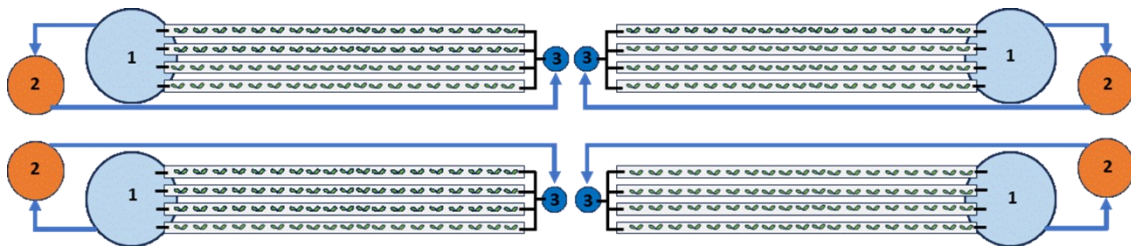


Figura 1. Esquema de los cuatro módulos acuapónicos individuales. Tanque de peces (1), filtro mecánico sobreelevado (2), filtro biológico (3). Las flechas azules señalan el sentido de circulación del agua.

La hortaliza seleccionada para el cultivo vegetal fue la lechuga (*Lactuca sativa*, var. Brisa), trasplantándose 58 plántulas en cada módulo, a una distancia de 25 cm entre sí (Somerville et al., 2014) (Figura 2).



Figura 2. Vista de los cuatro módulos acuapónicos individuales en producción.

Los parámetros de calidad de agua (temperatura del agua, oxígeno, pH y conductividad) y la temperatura ambiental dentro del invernadero, se monitorearon periódicamente durante todo el período experimental, utilizando para ello equipos electrónicos pertenecientes al INICNE. Estas mediciones se realizaron en los tanques de peces y en los canales hidropónicos. También se monitorearon las concentraciones de Nitrógeno Total, Amonio, Nitrito y Nitrato. Para ello se obtuvieron muestras en tres zonas distintas de cada módulo; en los tanques de peces (TP), a la salida de los filtros biológicos (FB) y a la salida de los canales de cultivo de plantas (SP). Estas muestras fueron debidamente acondicionadas y enviadas para su análisis al Laboratorio de Química Ambiental (LABQUIAM), dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (UNNE).

La productividad de los peces se evaluó a través de los siguientes indicadores: Peso Medio Final (PF), Tasa de Supervivencia (S), Biomasa Final (BF), Incremento de Biomasa Diario (IBD), Tasa de Crecimiento Específico (TCE) y Ganancia Diaria de Peso (GDP). Para las mediciones de peso realizadas a los peces de manera individual, se utilizó una balanza electrónica marca OHAUS, con una precisión de 0,01 g.

Con relación al cultivo de plantas, se evaluó la Biomasa Total producida (BT), Número de hojas fotosintéticamente activas, Peso de la planta entera (g) y Relación porcentual entre el peso de la parte aérea y el de la raíz.

RESULTADOS OBTENIDOS

La Temperatura ambiental osciló entre los 25,2 y 26,9 °C, manteniéndose estable a lo largo de todo el ensayo experimental. Los valores promedios de calidad del agua se encuentran resumidos en la Tabla 1.

La temperatura del agua presentó valores adecuados, tanto para la cría de peces como para el cultivo de plantas. Las concentraciones de oxígeno disuelto se mantuvieron altas durante el primer tercio de los ensayos, presentando una disminución hacia el final de la experiencia, pero siempre dentro de valores considerados óptimos, tanto para los peces como para las plantas.

Los valores de pH se mantuvieron estables durante todo el periodo experimental, mientras que la conductividad eléctrica tuvo un comportamiento diferente en los cuatro tanques de peces, presentando valores promedios de 368,85; 569,15; 636,39 y 668,19 $\mu\text{S/cm}$, para los tanques 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

Tabla 1: Valores promedio de temperatura, pH, oxígeno y conductividad del agua observados en peces y plantas en los distintos módulos durante las tres etapas del ensayo.

Módulos	Etapas	Peces				Plantas			
		Temp. °C	pH	OD mg/L	CE $\mu\text{S/cm}$	Temp. °C	pH	OD mg/L	CE $\mu\text{S/cm}$
1	A	21,75	7,04	7,12	322,36	22,03	6,76	6,66	325,00
	B	21,83	6,75	6,13	371,09	21,73	6,45	5,08	374,73
	C	24,93	7,21	4,23	437,71	25,14	7,09	3,57	444,71
2	A	21,69	7,01	6,80	478,00	22,05	6,94	5,87	496,27
	B	21,77	6,90	5,66	644,55	21,81	6,77	4,72	646,45
	C	24,14	7,18	4,16	586,71	24,07	7,07	4,06	606,00
3	A	21,83	7,05	6,57	611,64	21,92	6,99	6,10	621,45
	B	21,53	6,85	5,57	700,45	21,53	6,75	4,64	721,00
	C	23,81	7,06	4,00	599,14	24,21	7,09	4,18	622,57
4	A	21,87	7,05	6,44	798,60	22,03	7,14	6,45	799,64
	B	21,42	6,91	5,43	615,18	21,58	6,79	4,62	617,64
	C	24,09	7,09	4,81	602,57	23,74	7,10	4,52	607,88

Los valores promedio de amonio, nitrito y nitrato registrados durante el periodo experimental se encuentran resumidos en la Tabla 2.

La introducción de los peces al sistema y la alimentación de estos, generó aumentos en la concentración de amonio en los tres puntos de muestreo (FB, TP y SP). Finalmente, con la maduración de los FB y colocación de las plantas, los niveles de amonio fueron disminuyendo, finalizando con valores promedio de 3,29 mg/l.

El nitrito comenzó con un valor promedio de 1,10 mg/l para los tres puntos de muestreos, para luego ir disminuyendo su concentración a medida que transcurrían los días de ensayo.

Los nitratos presentaron variaciones a lo largo de las distintas etapas en los tres puntos de muestreos. El módulo 1 presentó los valores más altos en los días 44 y 88, mientras que el módulo 3 presentó un pico en el día 88. Por su parte, los módulos 2 y 4 se mantuvieron en valores cercanos a 20 mg/l en todo el periodo.

Tabla 2. Valores promedio de amonio, nitrito y nitrato (mg/l) registrados en los distintos módulos durante los 119 días de ensayo.

Módulo	Etapa	Filtro Biológico			Tanque de Peces			Salida de Plantas		
		Amonio mg/l	Nitrito mg/l	Nitrato mg/l	Amonio mg/l	Nitrito mg/l	Nitrato mg/l	Amonio mg/l	Nitrito mg/l	Nitrato mg/l
1	A	4,07	0,55	47,33	2,99	0,70	35,48	0,96	0,61	42,24
	B	5,98	0,32	73,26	6,90	0,71	82,73	5,71	0,25	83,45
	C	6,93	0,38	29,43	4,07	0,39	24,90	3,06	0,36	25,25
2	A	20,65	1,51	17,09	18,96	1,67	13,35	25,07	1,65	17,94
	B	5,87	0,81	23,11	7,45	0,26	20,78	5,67	0,75	21,73
	C	3,30	0,37	23,68	3,49	0,39	23,87	2,51	0,38	21,23
3	A	3,89	0,66	10,56	8,34	0,79	8,49	6,62	0,69	10,15
	B	9,14	1,93	52,43	8,05	1,80	44,82	10,72	2,59	45,94
	C	2,12	0,27	19,70	2,15	0,40	15,52	1,67	0,23	17,39
4	A	16,79	0,69	25,66	21,97	0,90	19,31	18,49	0,95	24,28
	B	12,41	0,14	16,71	14,55	0,46	16,67	15,14	0,41	24,96
	C	3,58	0,31	28,83	3,68	0,48	20,88	2,94	0,39	20,91

Con respecto a los índices productivos de los peces, las variables de peso final y biomasa final se observan en las Figuras 3 y 4, respectivamente, mientras que los demás resultados obtenidos se encuentran desarrollados en la Tabla 3.

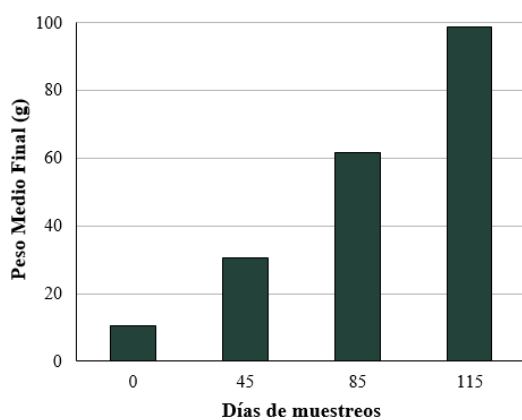


Figura 3. Valores promedio de Peso Medio (g) de juveniles de *P. mesopotamicus* obtenidos a lo largo del ensayo experimental.

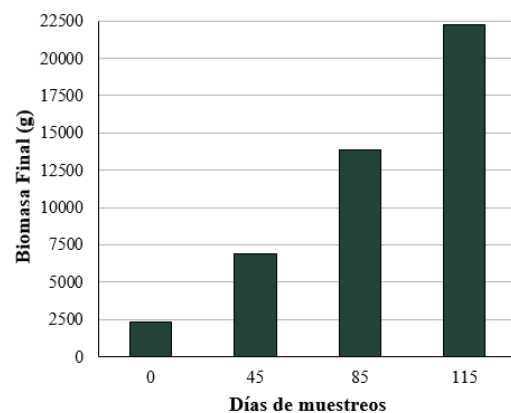


Figura 4. Valores promedio de Biomasa Final (g) de juveniles de *P. mesopotamicus* obtenidos a lo largo del ensayo experimental.

Tabla 3. Valores promedio de los parámetros de crecimiento observado en los peces en los distintos módulos durante los 119 días de ensayo.

Módulo	S (%)	GDP (g/día)	IBD (g/día)	TCE (%/día)
1	100	0,8	177	2,1
2	100	0,8	176,1	2,1
3	100	0,7	162,4	1,9
4	100	0,8	176,1	1,8
Promedios	100	0,8	172,9	2,0

GDP: ganancia diaria de peso; IBD: incremento de biomasa diario; S: supervivencia; TCE: tasa de crecimiento específico.

La supervivencia fue del 100% en todos los módulos, evidenciando que esta especie se adaptó perfectamente al sistema de cultivo intensivo evaluado.

Durante los 119 días de duración del ensayo experimental, se realizaron 3 cosechas totales de lechuga, a los 44, 88 y 119 días. Los parámetros de crecimiento evaluados en las plantas se encuentran resumidos en la Tabla 4.

Al analizar por módulo, vemos un mejor desempeño en el módulo 2 en las dos primeras etapas, y una baja significativa en la última. Si bien todos los módulos en la última etapa tuvieron rendimientos inferiores a los ciclos anteriores, es llamativa la disminución del módulo 2. Caso contrario se observó en el módulo 1, el cual obtuvo una baja producción en la primera etapa, para luego alcanzar los promedios generales. Por su parte, los módulos 3 y 4 fueron los que presentaron una producción más estable a lo largo de las tres etapas evaluadas.

Tabla 4. Valores promedio obtenidos para el cultivo de vegetales en las tres etapas.

Etapas	Módulo	Peso Planta (g)	Biomasa Final (g)	Nº hojas	Parte aérea (%)	Raíz (%)
Etapa 1	1	101	5.858	13,6	89,33	10,67
	2	175,9	10.200	13,9	89,69	10,31
	3	161,9	9.388	12,1	90,18	9,82
	4	164,1	9.516	13,2	90,11	9,89
Etapa 2	1	132,1	7.660	11,8	83,90	16,10
	2	179,4	10.405	14,1	87,21	12,79
	3	149,5	8.673	12	84,71	15,29
	4	164,1	9.520	13,4	85,94	14,06
Etapa 3	1	115	6.670	14,8	85,70	14,30
	2	98,5	5.715	13,1	85,02	14,98
	3	105,9	6.144	13,6	86,81	13,19
	4	124,5	7.223	14,9	83,06	16,94
Promedios del ciclo		139,3	8.081	13,4	86,8	13,2



DISCUSIÓN

Los parámetros físicos y químicos del agua permanecieron dentro de los valores adecuados para el cultivo del pacú (Fernández Cirelli et al., 2010; Sipaúba, 2013).

Si bien la temperatura ambiente registró valores acordes a los requerimientos de las plantas (Fernández Lozano, 2012), la temperatura del agua estuvo levemente por debajo de lo considerado óptimo para el crecimiento del pacú, la que se encuentra entre los 25 y 28 °C (Dias-Koberstein et al., 2004, Luchini, 2020). Además de la importancia de la temperatura del agua en la regulación del metabolismo de los peces, este parámetro también es importante en relación a la solubilidad de los gases, principalmente el oxígeno, y para que no haya gran evaporación del agua en estos sistemas RAS (Luchini, 2020). Los valores de temperatura del agua, levemente inferiores a los considerados óptimos para la cría de pacú, podrían haber afectado negativamente las tasas de crecimiento de los peces (Kubitza, 2013).

Los niveles de oxígeno fueron disminuyendo paulatinamente a lo largo del período experimental, sin alcanzar niveles inferiores a los requerimientos mínimos del pacú (4 mg/l) (Kubitza, 2013). Esta disminución podría deberse al aumento paulatino de la biomasa de peces y la producción de materia orgánica, sugiriéndonos que podríamos estar alcanzando la biomasa máxima o capacidad de carga o soporte del sistema (Kubitza, 2017a; Luchini, 2020).

Los altos valores de conductividad eléctrica observados en el agua podrían deberse a la materia orgánica acumulada en el sistema, debido a que el mismo careció de equipos de sedimentación de sólidos.

La acumulación de compuestos nitrogenados, como el amonio no ionizado (NH_3 o amoníaco), el amonio ionizado (NH_4^+), el nitrito (NO_2^-) y el nitrato (NO_3^-), generan los mayores problemas de calidad del agua en sistemas de cultivos intensivos. Tanto el amoníaco como el nitrito son sumamente tóxicos para los peces (Kubitza, 2011). Si estos compuestos alcanzan determinados valores, pueden alterar negativamente el desempeño zootécnico de los peces o incluso provocar la muerte de los mismos. Valores de amoníaco de 0,2 mg/l son tomados como valores de atención en la calidad del agua (Dominguez Castanedo y Espinosa, 2012; Sipaúba, 2013; Kubitza, 2013; 2017b).

En el ensayo se observa que los valores de amonio son superiores a los de referencia, tanto en los TP, FB o SP. Sin embargo, estos valores van presentando un comportamiento esperado a medida que en el sistema se van desarrollando las bacterias autótrofas encargadas de ir oxidando las moléculas de amonio, para transformarlas primero en nitrito (*Nitrosomas* sp.) y después a nitratos (*Nitrobacter* sp.), que es la forma en que las plantas utilizan el amonio para su crecimiento. A pesar de esto, no hubo mortandad de peces en ninguno de los cuatro módulos y se obtuvieron buenos resultados en los índices productivos en pacú en todos ellos. Esto puede adjudicarse al comportamiento del pH, debido a que con valores de 6,5 o 7, menos del 1% del amonio total corresponden al gas amonio (NH_3) que es tóxico, el resto está en forma de amonio ionizado (NH_4^+), menos tóxico para los peces. Domínguez Castanedo y Martínez Espinosa (2012) cultivaron juveniles de pacú por 60 días en un sistema de recirculación cerrada de agua (SRA) donde llegaron a tener concentraciones de nitrógeno amoniacal de 17,75 mg/l con un pH neutro – ácido, sin que se vean afectados los parámetros de supervivencia de los peces.

El nitrito (NO_2^-) es un metabolito intermedio en el proceso de oxidación del amonio a nitrato y es una molécula inestable. 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).

Los niveles de nitritos considerados límites para peces tropicales son 2,2 mg/l NO_2^- o 0,1 a 0,7 mg/l de N-NO_2^- (Fernández Cirelli et al., 2010; Kubitza, 2013; 2017c; Sipaúba, 2013). En el presente ensayo, los valores siempre se mantuvieron por debajo de esos parámetros y fueron disminuyendo a medida que trascurrieron los días de cultivo, sin afectar el desempeño zootécnico de los peces. Domínguez Castanedo y Martínez Espinosa (2012), realizaron la cría de juveniles de pacú en RAS alcanzando una supervivencia de 99% con niveles máximos de 29 mg/l NO_2^- , aun cuando Vinatea (2002) estableció que los niveles óptimos recomendados para esta especie son inferiores a 8,0 mg/l. Por su parte, Pinho et al., (2017), realizando la cría de juveniles de pacú y tilapia en un sistema acuapónico, obtuvieron valores de nitrito de 0,06 y 0,04 mg/l, alcanzando tasas de supervivencia de 100 y 98% para pacú y tilapia, respectivamente.

El nitrato (NO_3^-) es el producto de la oxidación del nitrito por las bacterias nitrificantes. En los sistemas de recirculación cerrada, el nitrato puede alcanzar niveles muy altos, pero en un sistema acuapónico este producto es retirado por las plantas. Niveles de 100 a 200 mg/l de nitrato son considerados adecuados para peces tropicales de agua dulce (Fernández Cirelli et al., 2010; Kubitza, 2013; 2017b; Sipaúba, 2013), aunque otros autores citan como cifras óptimas 25 mg/l de N- NO_3 (Chaverra Garcés et al., 2017). La presencia de nitritos y, principalmente, nitratos en el sistema nos indica que en el filtro biológico se están desarrollando las bacterias nitrificantes, y eso es importante para todo el equilibrio biodinámico del sistema acuapónico, siendo el nitrato la forma en que las plantas absorben el nitrógeno y lo utilizan para su desarrollo. En este trabajo, los valores siempre se mantuvieron dentro de los márgenes aceptables para el cultivo de peces. Respecto a los valores más elevados de nitratos observados en el módulo 1, estos son coincidentes con la baja producción de vegetales obtenida en la primera etapa. Esto posiblemente pudo deberse a una baja absorción por parte de las plantas de este producto, a veces relacionado a la solubilidad de los nutrientes o a deficiencias en los procesos de mineralización de la materia orgánica (Somerville et al., 2014).

Además de la densidad de cría, la calidad del agua y la disponibilidad y calidad del alimento son factores sumamente importantes a considerar sobre los parámetros de crecimiento, supervivencia y comportamiento de los peces (Gomes et al., 2006; Santinón et al., 2012). Aunque la bibliografía referida a la cría de pacú en estos sistemas, tanto en acuaponía como en sistemas de recirculación cerrada (SRC) aún resulta escasa, pudimos observar que los resultados obtenidos en el presente trabajo son similares a los presentados por Pinho et al., (2017), quienes obtuvieron una TCE del 2,3 %/día, levemente superior a la obtenida en nuestro trabajo, pero con una productividad de biomasa final por m^3 menor. En otro trabajo realizado por González et al., (2021) donde evaluaron el desempeño productivo de juveniles de *P. mesopotamicus* y *Prochilodus lineatus* en un sistema acuapónico, obtuvieron resultados similares a los del presente trabajo, con una TCE de 2,2 %/día en pacú y una tasa de supervivencia del 100 %.

La ganancia de peso y el incremento de biomasa diario promedio obtenido en este trabajo fue similar a lo encontrado por Domínguez Castanedo y Martínez Espinosa (2012), quienes evaluando dos niveles de proteínas (18 y 28 %) en la dieta de juveniles de pacú, bajo un sistema de cultivo intensivo (RAS) durante 60 días, obtuvieron una ganancia de peso de 89,73 y 96,87 % para 18 y 28 % de proteínas, respectivamente.

En los últimos años, la idea de cultivar en sistemas hidropónicos ha crecido, surgiendo como una alternativa para producir en zonas no aptas para ciertos cultivos, brindándole un valor agregado a la producción y como alternativa en áreas urbanizadas (Scaturro, 2019).

El desarrollo inicial de las plantas fue lento, registrándose un mayor crecimiento a partir de la segunda quincena de implantadas las plántulas, hasta llegar a un peso estable a los 40 días, similar a lo observado por Scaturro, (2019) en ensayos de hidroponía en invernadero. De todos modos, los resultados fueron superiores a los obtenidos por Meza Arroyo (2018), salvo el módulo 1 en la primera etapa (5.850 g) y el módulo 2 en la última (5.700 g), coincidiendo con un aumento de la serie nitrogenada en ese módulo en la última etapa; esto nos hace presumir una falta de absorción por parte de las raíces o, como menciona Somerville et al., (2014), que se puede ver comprometida la solubilidad de algunos de estos compuestos en relación al pH y a los procesos de mineralización.

CONCLUSIONES

La utilización de prácticas ambientales en la acuicultura es fundamental para su desarrollo. Uno de los grandes problemas en la actualidad es la escasez de agua y el manejo indiscriminado de este recurso, de ahí la importancia de buscar sistemas de producciones acuícolas que reutilicen este recurso.

El éxito de estas producciones está relacionado a una necesidad por generar sistemas más eficientes, sostenibles y amigables con el medio ambiente.

Los resultados confirman que el pacú es una especie de pez alternativa para la producción en acuaponía.

Los sistemas fueron capaces de metabolizar casi la totalidad de amonio-nitrógeno producido a partir del alimento a lo largo de todo el periodo experimental, evidenciando la factibilidad de realizar este tipo de cultivo con esta especie de pez.



REFERENCIAS

- Arranz, S. y Hennig, H. (2017). INTA y el desarrollo de la piscicultura en Argentina: experiencias de tecnología organizacional y agregado de valor en origen. Entre Ríos: Ediciones INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/3793>
- Baganz, G.F.M., Junge, R., Portella, M.C., Goddek, S., Keesman, K.J., Baganz, D., Staaks, G., Shaw, C., Lohrberg, F., y Kloas, W. (2021). The aquaponic principle - It is all about coupling. *Rev Aquac.*, 14: 252–264. <https://doi.org/10.1111/raq.12596>
- 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): 170-180. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.12.3.1>
- Cohelo Emerenciano, M.G., Lemos de Mello, G., Pinho, S.M., Mlinari, D., y Blum, M.N. (2015). Aquaponia: uma alternativa de diversificação na aquicultura. *Revista Panorama da Aquicultura*, 25 (147): 24-35.
- Dias-Koberstein, T.C.R., Carneiro, D.J., y Urbinati, E.C. (2004). Comportamento alimentar de alevinos de pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887) por meio das observações do tempo de retorno do apetite e do tempo de saciação dos peixes em duas temperaturas de cultivo. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. Maringá, 26 (3): 339-344.
- 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>
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- 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.
- Fernández Lozano, J. (2012). La producción de hortalizas en Argentina. Gerencia de Calidad y Tecnología. Mercado Central de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. 29 pp.
- Franco Gómez, C.M. (2006). Alternativa para una producción saludable, eficiente, limpia (ecológica) y rentable en granjas piscícolas. Memorias del I Seminario Internacional de Patología y Sanidad Piscícola. Universidad Nacional, Bogotá, Colombia.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K.V., Jijakli, H., y Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7 (4): 4199-4224.
- Gomes, L. de C., Chagas, E.C., Martins-Junior, H., Roubach, R., Ono, E.A., y Lourenço, J.N. de P. (2006). Cage culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in a central Amazon floodplain lake. *Aquaculture*, 253(1-4): 374-384. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.020>
- González, O., González, L., Comolli, J., Santinón, J., Agüero, C., y Roux, J. (2021). Parámetros Productivos de dos Especies de Peces Autóctonos (*Piaractus mesopotamicus* y *Prochilodus lineatus*) en un Sistema Acuapónico con Lechuga (*Lactuca sativa* sp). *Agrotecnia*, 31: 43-55. <https://doi.org/10.30972/agr.0315815>
- Hao, Y., Ding, K., Xu, Y., Tang, Y., Liu, D., y Li, G. (2020). States, Trends, and Future of Aquaponics Research. *Sustainability*, 12 (18), 7783. <https://doi.org/10.3390/su12187783>
- Heldbo, J. (2015). Sistemas de recirculação: A vanguarda da aquicultura Dinamarquesa. *Panorama da Aqüicultura*, 25 (148): 37-45.
- Kubitza, F. (2003). Peixes nativos: Saiba como assegurar maior sobrevivência, encurtar o período de engorda e aproveitar bem os seus viveiros. *Panorama da Aqüicultura*, 13, 54–61.
- Kubitza, F. (2011). Criação de tilápias em sistema de bioflocos sem renovação de água. *Panorama da Aqüicultura*, 21 (125).
- Kubitza, F. (2013). Qualidade de água no cultivo de peixe e camarões. 208 pp. Jundiaí, SP
- Kubitza, F. (2017a). A água na aquicultura /parte 1: Oxigênio dissolvido e sua importância para o desempenho e saúde de peixes y camarões. *Panorama de Aqüicultura*, 27 (162): 23-33.
- Kubitza, F. (2017b). pH da água regula excreção e toxidez de amônia. *Panorama da Aqüicultura*, 27 (160): 14-23.
- Kubitza, F. (2017c). O impacto da amônia, do nitrito e do nitrato sobre o desempenho e a saúde dos peixes e camarões. *Panorama da Aqüicultura*, 27(164): 14-27.

-
- Luchini, L., y Wicki, G.** (2003). Cultivo del pacú. IDIA XXI (3): 148-152.
- Luchini, L.** (2020). Acuicultura Continental y Marina. - Lineamientos Generales. Ed. de Autor. Talleres Gráficos Sudamericana, Rosario, Santa Fe - Argentina. 228 pp.
- Meza Arroyo, M.** (2018). Comportamiento de tres técnicas de cultivo hidropónico con lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema acuapónico - Echarati - la convención- cusco. Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo Tropical. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- MINAGRI.** (2013). Boletín de la Dirección de Acuicultura. Dirección Nacional de Planificación Pesquera. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de la Nación. Buenos Aires (Argentina), p.1-19.
- Pinho, S.M., 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.*, 26, 99-112. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0198-y>
- Pinho, S.M., Valladão Flores, R.M., David, L.H., Emerenciano, M.G.C., Quagraine, K.K., y Portella, M.C.** (2022). Economic comparison between conventional aquaponics and FLOCponics systems. *Aquaculture*, 552: 737987. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737987>
- Rakocy, J.** (2012). Aquaponics-integrating fish and plant culture. In: J.H., Tidwell (Ed) *Aquaculture production-systems*, 1st edn. Wiley-Blackwell, Oxford, pp 343–386.
- Santínón, 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. <https://doi.org/10.30972/vet.2311814>
- Scaturro, G.N.** (2019). Evaluación de dos sistemas de producción de lechuga en hidroponia y un cultivo tradicional bajo cubierta. Tesis Final para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Lujan. Lujan, Buenos Aires. Argentina. 35p.
- Sipaúba, L.H.** (2013). Uso Racional da Agua en 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.
- Souza, V.L.** (1998). Efeitos da restrição alimentar e da realimentação no crescimento e metabolismo energético de juvenis de pacú (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg, 1887). Tesis de maestría, Universidade Estadual Paulista. São Paulo, Brasil.
- Vinatea, A.L.** (2002). Principios químicos de calidad del agua en acuicultura. Una revisión para peces y camarones. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México D.F., México.