

Sistema acuapónico de pequeña escala desarrollado en CENADAC



**Ministerio
de Economía**
República Argentina

**Secretaría
de Bioeconomía**

Sistema acuapónico de pequeña escala desarrollado en CENADAC

Pablo Candarle, Guillermina Dapello y Gustavo A. Wicki (2024).
Centro Nacional de Desarrollo Acuícola, Dirección Nacional de
Acuicultura, Subsecretaría de Recursos Acuáticos y Pesca.

Resumen

El presente trabajo tiene como finalidad describir el diseño y montaje de un sistema acuapónico, de escala reducida (70 m²), brindando los datos técnicos, detallando el modo operacional y el funcionamiento de los componentes del mismo. El módulo se encuentra en el CENADAC (Corrientes, región NEA; 27°32'S, 58°30'W) por lo que las especies piscícolas y vegetales utilizadas son acordes a la zona.

Se presentan, además, los resultados obtenidos durante un año de producción con dos especies de peces para destinos diferentes; *Carassius auratus* (variedad ornamental) y *Oreocromis niloticus* (consumo alimenticio). Para los vegetales se utilizaron tres técnicas diferentes y combinadas de cultivos hidropónicos.

Introducción

Las unidades de producción acuícola de pequeña y mediana escala contribuyen a la seguridad alimentaria y a la disminución de la pobreza al proveer de alimento a comunidades y mercados locales, siendo muy importantes en la vida y cultura de muchas colectividades alrededor del mundo (FAO, 2022).

La acuaponía combina la producción acuícola con un sistema hidropónico de cultivo vegetal, y se basa en una serie de beneficios biológicos y rentables para ambas producciones. Estos sistemas, utilizan los desechos metabólicos de los peces, transformándolos en materia vegetal de organismos para consumo u otras finalidades (medicinales, ornamento), trabajando así sobre dos puntos de gran interés en la producción: rentabilidad y el tratamiento de desechos (Rakocy, 1999).

Desde el año 2010 se viene desarrollando en el CENADAC experiencias en este sistema productivo de manera que resulte ambiental, social y económicamente sostenible, minimizando el impacto en los ecosistemas. Estas experiencias, al igual que otras que se

llevan a cabo en el mencionado Centro, buscan cumplir con los objetivos fijados para la acuicultura en la Transformación Azul; tales como *intensificar y expandir la acuicultura sostenible*, y *mejorar la cadena de valor* reduciendo las pérdidas y desperdicios, mejorando la trazabilidad y transparencia, así como facilitar el comercio y optimizar el acceso a los mercados lucrativos.

En concordancia con esto, las últimas experiencias en acuaponía realizadas en el CENADAC, se centraron en la construcción y puesta en marcha de un módulo experimental y demostrativo de tamaño familiar o de autoconsumo. La dimensión del mismo se basó en la intensión de acercar a los productores rurales y periurbanos a este sistema de cultivo satisfaciendo necesidades familiares, y una vez adquirido el manejo del sistema escalar las producciones a los requerimientos del mercado.

Descripción del sistema

El sistema productivo fue montado en una estructura tipo invernáculo techado (*Figura 1*), sin paredes laterales, de 12 x 6 metros preparados para tal fin.

Se detallan los componentes principales del módulo mediante un croquis con la enumeración de los mismos y el direccionamiento del flujo de agua:

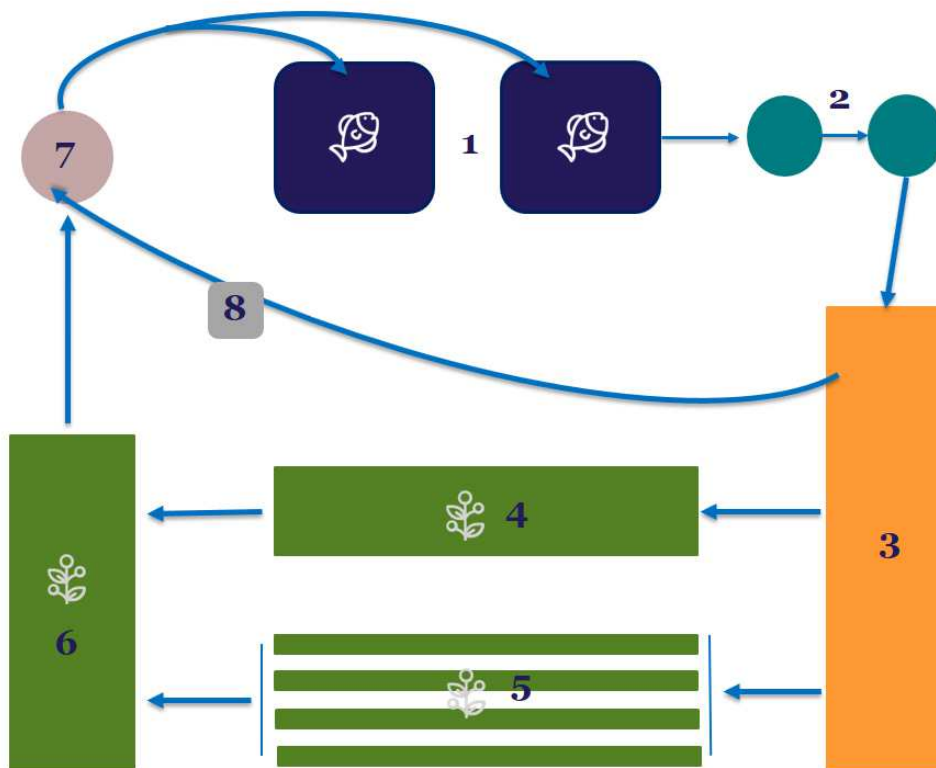


Figura 1: Croquis del sistema acuapónico montado en el CENADAC.

1. Tanques de peces (1000 L c/u)
2. Decantador y separador de sólidos (140 L c/u)
3. Filtro biológico (450 L)
4. Sistema hidropónico balsas flotantes (900 L; 3.5 m²)
5. Sistema hidropónico NFT (70 L; 4 m²)
6. Sistema hidropónico de sustrato (250 L; 1.5 m²)
7. Sumidero con bomba sumergible (350 L)
8. Sistema alternativo flujo de agua (sin paso por subsistemas hidropónicos)

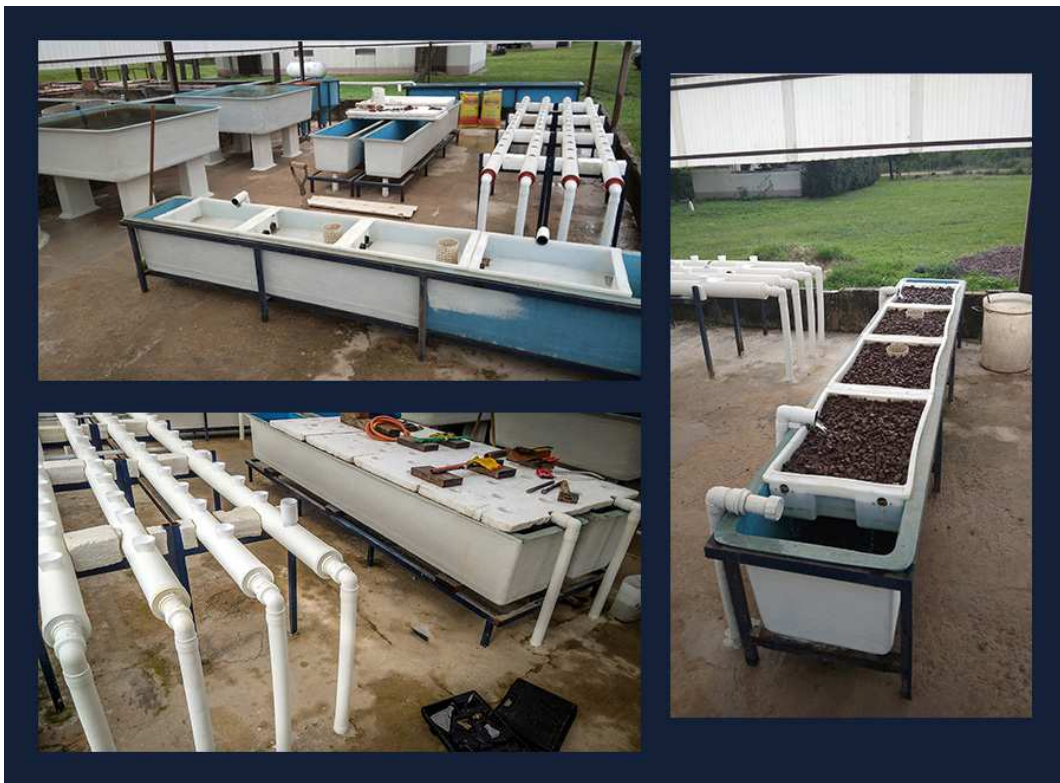


Figura2: Sistema acuapónico en etapa final del montaje

Datos técnicos del sistema:

Volumen total: 4300 Litros

Circulación agua: Bomba eléctrica sumergible Atman[®] AT- 105 (Consumo: 60 W/h)

Caudal de bombeo: 1300 L/h (h= 1,2 m) El cual se dividió en los dos tanques, dando una renovación de agua en cada unidad de 0,65 /h.

La renovación total del sistema se estableció en 0,3/h (una circulación total del circuito cada 3 h, 18 min)

Aireación: Aireador Atman ®HP-8000 (70 L/min; 48 W/h); 3 piedras difusoras en cada unidad de peces; 2 piedras difusoras en filtro biológico y 6 piedras difusoras en unidad cultivo vegetal de balsas flotantes.

Superficie cultivo peces: 4.5 m²

Superficie cultivo vegetal: 9 m² (Relación = 1: 2)

Consumo energético del sistema: 108 W/h

Operación del sistema:

En el sector piscícola fueron cultivadas 2 especies diferentes de peces, una por tanque: goldfish o pez dorado (*Carassius auratus*) y Tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*).

Las cargas de peces se mantuvieron por debajo de 10 kg/m³ en equilibrio a la superficie vegetal sembrada; al sistema de filtración y permitiendo manejos adecuados y oportunos, para garantizar la sobrevivencia de los peces bajo cultivo.



Figura 3: *Carassius* o goldfish y tilapia

El objetivo productivo fue diferente para cada tanque. La especie ornamental fue mantenida con 29 peces adultos (>40 g) de variedades y sexo mezclados (cálidos; cometas; cabeza de león y otros) con la finalidad de mantener nutrido el sistema de calidad de agua y eventualmente realizar desoves para la producción de juveniles.

Aún en biomasa inferior a las tilapias, los *carassius* o goldfish presentaron una alternativa importante durante los meses más fríos, cuando las tilapias prácticamente dejaron de alimentarse por períodos considerables. El amplio rango térmico de la especie permite mantenerlos dinámicos con temperaturas incluso inferiores a 15 °C, y

además, presentan actividad reproductiva en época primaveral.

El lote inicial de las tilapias fue de 15 unidades, mono-sexo macho de 375 g promedio, las cuales fueron alimentadas a demanda, 6 días a la semana y se cosecharon de manera paulatina, posibilitando la resiembra para mantener las cargas citadas.

El flujo de agua proveniente de los tanques de peces, unificados en sus desagües, fue decantado y filtrado por 2 unidades cilíndricas y cónicas en la zona inferior, estas cumplen con la tarea de separar partículas sedimentables antes de pasar al filtrado biológico o zona de nitrificación (Fig. 4). En éste último se utilizaron secciones de 2 a 3 cm de caño corrugado (material inerte comúnmente utilizado para instalaciones eléctricas) de ½ pulgada de diámetro para la fijación de las bacterias nitrificantes.



Figura 4: Filtros mecánicos en construcción: sedimentador y separador de sólidos.

Los filtros mecánicos se limpiaron mediante recambio de agua y lavado 1 o 2 veces por semana, dependiendo de la temperatura, variable que determinó la tasa metabólica de los peces y como consecuencia la tasa de retención de sólidos del sistema. El saneamiento sólo se efectuó a fines de evitar la acumulación excesiva de materia orgánica y garantizando la adecuada circulación del flujo de agua.

El filtro biológico del sistema también requirió de una limpieza periódica, 1 a 2 veces por mes, retirando los restos de algas que se generan en el sistema y materia orgánica acumulada producto de la película de bacteria muerta que regularmente se acumula en los rincones de la unidad.



Figura 5: Filtro biológico en prueba de funcionamiento y el mismo activo más producción vegetal con sustrato.

Eventualmente, al momento de alimentar larvas y alevinos de carassius, se utilizaron parcialmente como ración estos “bioflóculos” y las masas de bacterias gelatinosas acumulados en sectores del complejo de filtración del sistema, los cuales son recibidos animosamente por los peces.

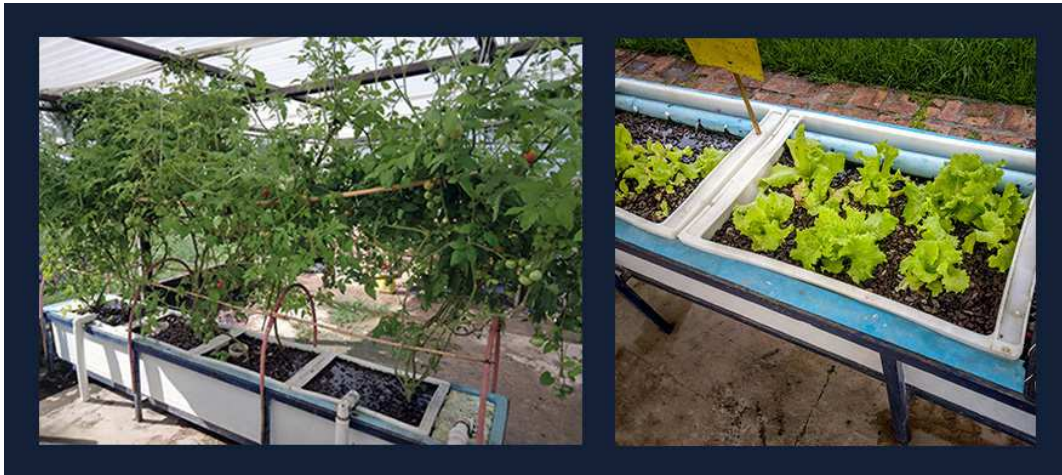


Figura 6: Cultivo de vegetales en lecho con sustrato; tomates cherry y lechuga.

El área de cultivo vegetal se diseñó para presentar los 3 principales modelos en sistemas hidropónicos: balsas flotantes (o cultivo de aguas profundas); película nutritiva (o NFT) y lechos con sustratos. Los mismos fueron operados de manera conjunta como un sistema general, por lo que no fueron comparados entre sí los subsistemas (programado

para experiencias futuras). Con la finalidad de optimizar el rendimiento productivo se combinaron para utilizarse en diferentes fases del crecimiento vegetal, y realizando trasplantes según disponibilidad de espacio de cada modalidad de cultivo.



Figura 7: Balsas flotantes: armado del sistema listo para recibir los vegetales, bateas con producción de albahaca y perejil, contenedor plástico que se coloca en los huecos de la balsa flotante.

Para esta experiencia hidropónica los vegetales producidos fueron lechuga, albahaca, perejil, pepino, morrón, tomate cherry, apio y acelga.

Para las hortalizas de hojas los sistemas que mejor se adaptan son las balsas flotantes y el NFT. En ambos casos el contenedor que aloja el agua debe ser opaco para impedir la entrada de luz, evitando la generación de algas en el interior; por este motivo la estructura flotante y los tubos a utilizar deben también ser opacos y en lo posible de colores claros en el exterior para evitar el calentamiento de la solución.

Los lechos con sustrato se utilizan generalmente para plantas de fruto como tomates, morrón, etc. El término “sustrato” se usa para definir cualquier material, ya sea de origen natural o sintético, en reemplazo del suelo, dado que este cumple la función de sostén de la planta.



Figura 8: sistema NFT: cultivo de vegetales de hoja.

Provisión de plantines

La germinación y provisión de plantines se desarrolló en el mismo módulo, utilizando diferentes técnicas de sustrato y variedades de semillas vegetales a fin de garantizar la disponibilidad en todo momento para su incorporación a los sistemas según su crecimiento y cosecha lo demande.



Figura 10: Plantines en zona de germinación, con utilización de variados sustratos.

Déficits nutricionales en plantas

Se presentaron algunas deficiencias durante los primeros meses, debido probablemente a la falta de maduración del sistema, donde predominaron signos de clorosis (hojas amarillentas con palidez) causada por ausencia de hierro; algunos signos de falta de Magnesio; Fósforo; Potasio y Calcio. Las mismas fueron contrarrestadas con adicionamiento parcial de quelato de hierro; ácido fosfórico, y de manera muy acotada, soluciones nutritivas balanceadas para hidroponía. Estas soluciones también se aplicaron eventual y preventivamente durante la época invernal ante la baja metabólica de los peces, que limita el ingreso de alimento al sistema. La tasa de aplicación de estos fertilizantes, fue menor al 10 % de la recomendada para la realización de estos cultivos.



Figura 11: Diferentes plantas con déficit nutricionales durante su desarrollo.

Calidad del agua

Las principales variables registradas en el monitoreo de calidad de agua muestran un promedio de temperatura anual de 23 °C, donde en los meses más calurosos fue de 27 °C (noviembre-marzo); y durante la época más fría (mayo-agosto) de 20 °C.

La concentración de oxígeno en agua, medida tanto en tanques piscícolas como en sistema de aguas profundas, promedió valores cercanos a 7 mg/L, manteniéndose siempre en valores por arriba de 5 mg/L mediante el agregado o recambio de piedras difusoras del sistema de aireación.

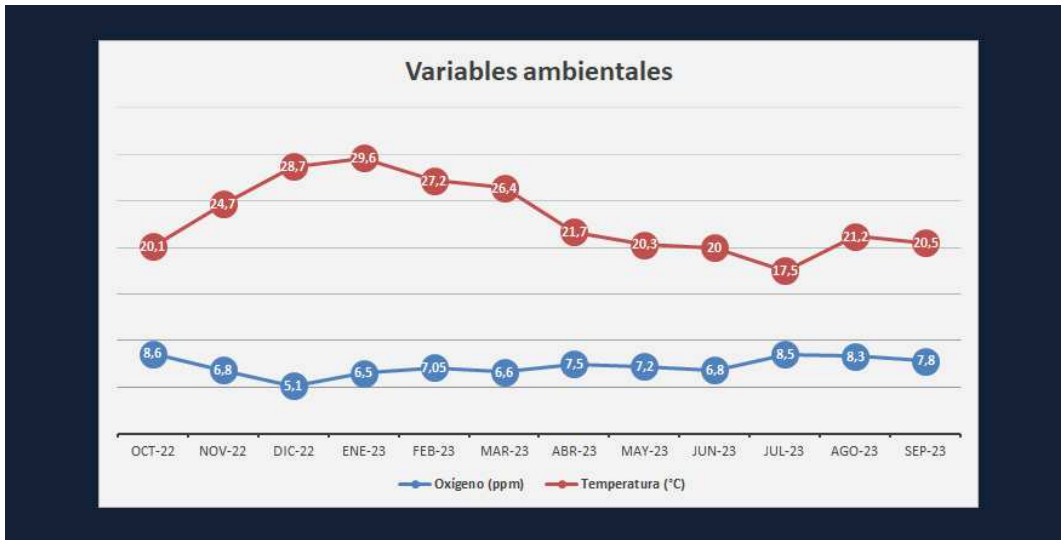


Figura 12: Promedio de temperaturas y oxígeno disuelto en agua registrados durante el ciclo de cultivo.

El valor promedio de pH en agua fue de 7, siendo los valores mínimos y máximos registrados 6,5 y 7,5 respectivamente.

En cuanto a la medición de compuestos nitrogenados, se registraron valores entre 40 y 70 ppm de nitratos (NO_3) y entre 0.5 y 1,5 ppm de Amonio (NH_3).

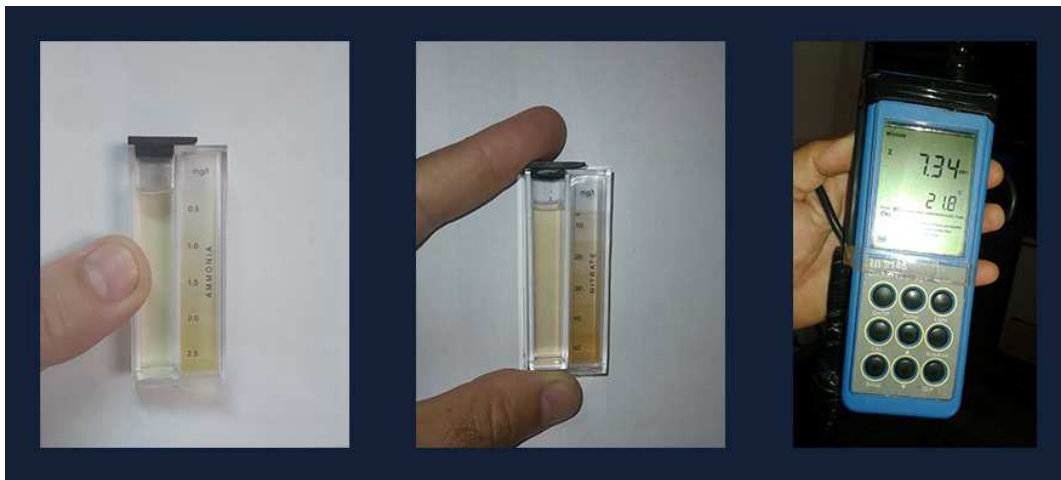


Figura 13: Tituladores colorimétricos para la determinación de concentración de compuestos nitrogenados y oxímetro utilizados durante el ciclo de cultivo.

RESULTADOS

Producción vegetal del primer año (octubre 2022 - septiembre 2023)

Se presentan en *Tabla 1* y *Figura 14*, las cantidades cosechadas en kilogramos (Kg) de las diferentes variedades vegetales durante cada mes de producción, y la totalidad de cada variedad durante el ciclo. También se puede apreciar el promedio mensual producido en los 9 m² de cultivo.

Mes / Vegetal	Lechugas	Albahaca	Perejil	Pepinos	Morrones	T. Cherry	Apios	Acelga	Kg mensual
oct-22	5,8	1,62	0,4	0	0	0	0	0	7,82
nov-22	15,7	4,59	1,8	0	0	0	0	0	22,09
dic-22	6	0	0	6,75	0,96	0	0	0	13,71
ene-23	0	0	0	5,67	0	0	0	0	5,67
feb-23	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0,60
mar-23	0	3,78	0	0	0,24	1,4	12	0	17,45
abr-23	0	1,08	0	0	4,32	7,7	0,25	0	13,40
may-23	2,2	0,27	0	0	1,8	9,5	2	0	15,74
jun-23	0	0	0	0	0	20,9	0,5	0	21,42
jul-23	0,2	0	0	0	0	13,7	3	0	16,93
ago-23	3,8	0	0	0	0	0	1	0	4,80
sep-23	5,5	0,27	0,6	0	0	0,84	0,75	3	10,96
Kg anual	39,8	11,61	2,8	12,42	7,32	54,138	19,5	3	150,59

Promedio mensual
12,55

Tabla 1. Kilogramos de vegetales cosechados mensualmente y anualmente en el sistema acuapónico.



Figura 15: Vegetales en cultivo

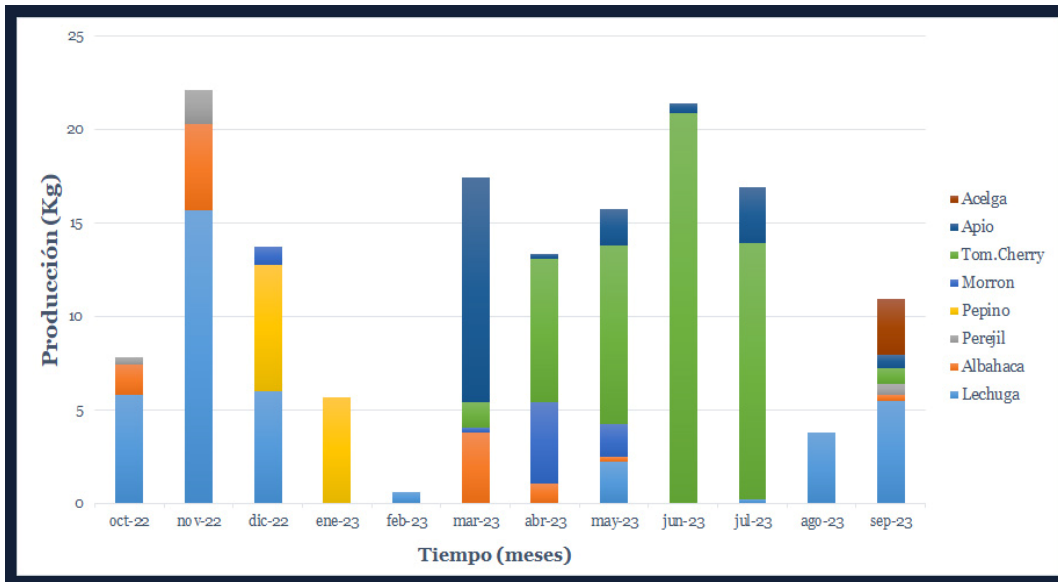


Figura 14: Producción de vegetales cosechados mensualmente en el sistema acuapónico (variedad y cantidad).



Figura 16: Cosecha de vegetales

Producción animal

Las cosechas de tilapia (*Tabla 2*) sumaron un total de 19 kg de peso vivo, las cuales se realizaron de manera escalonada según el incremento de la biomasa.

La cantidad total de alimento ingresado al sistema durante el ciclo fue de 22 kg, lo que representó un FCR (Factor de conversión del alimento) de 1.65.

Fecha	TILAPIAS	Peso prom (Kg)	Peso total (Kg)	Stock Unidades	Stock peso
ago-22	siembra	0,375	5,63	15	5,63
oct-22	2	0,60	1,2	13	7,8
nov-22	2	0,75	1,5	11	8,25
dic-22	2	0,88	1,76	9	7,92
ene-23	3	1,25	3,75	6	7,5
jun-23	2	1,55	3,1	4	6,2
oct-23	4	1,95	7,8	0	0
			19,11		

Tabla 2. Detalle de siembra de tilapia, unidades y pesos cosechados durante el ciclo.



Figura 17: Tilapias en cultivo y al momento de la cosecha.

Durante la experiencia se produjo el desove de *carassius*. La incubación de los huevos y alimentación de las larvas se realizó en un contenedor anexo de 30 litros dentro del módulo acuapónico. Luego de 15 días los juveniles fueron colocados en una jaula de tul, de fabricación casera, y sumergidos en el mismo tanque de cultivo. Después de 2 meses se obtuvieron 165 peces con un peso promedio de 5 g.



Figura 18: Materiales utilizados para incubación y alevinaje del desove de carassius dentro del sistema acuapónico, y juveniles de 55 días desde su eclosión.

Consideraciones finales

Los resultados obtenidos en cuanto a la materia vegetal representan una productividad anual de 167 TM/ha de los mencionados cultivos combinados (150 kg/m²), dicha productividad debería ser complementada con el resultante del factor piscícola del sistema. Una ventaja que ofrece este sistema de cultivo es que los alimentos son más seguros, esto se debe a la ausencia de enfermedades asociadas al uso de la tierra y que no se utilizan productos químicos.

Las concentraciones de nitrógeno medido en agua de 40–70 ppm, representan valores bastante menores a los recomendados para producciones hidropónicas (160 ppm, Resh, 2013), sin embargo, esto no pareció afectar significativamente a los vegetales; incluso los cultivos de frutales llegaron a tener un gran desempeño productivo. Los tomates cherry representaron un 1/3 de la producción total; y si bien los subsistemas hidropónicos fueron utilizados combinadamente se debe mencionar que el 50% de los cultivos se realizaron en sustrato en una superficie de 1,5 m², realizándose 2 ciclos de tomates, 1 de pepinos y 1 de morrones.

Si bien claramente ésta no fue una producción intensiva de peces, debe tomarse en consideración la rentabilidad que pueden producir los peces ornamentales aún en cargas estimadas como bajas dentro del común de las densidades en los SRA.

Como se menciona en el trabajo comparativo de la rentabilidad de estas dos especies en cultivo acuapónico (Candarle & Wicki, 2022), en sistemas acotados los cultivos de peces ornamentales ofrecen una mayor rentabilidad económica que los destinados a consumo.

La utilización de sistemas alternativos de energía, ofrecería la posibilidad de trabajar con cargas más altas, y con el consecuente incremento en la productividad de carne para su comercialización. Así mismo podría aumentarse la producción piscícola con la utilización de un sistema de calentamiento del agua durante los meses de invierno. Se debe tener en cuenta que este incremento trae aparejado un aumento en la superficie del sistema productivo vegetal.

Como puntos a mejorar durante la experiencia, se pueden citar la gran presencia de fouling en el sistema. El fouling o colonización algal, se dio principalmente en los tanques de los peces, llegando incluso a alterar considerablemente la concentración de oxígeno en determinados momentos, por lo que se debieron realizar limpiezas de los tanques, con un recambio de agua para la eliminación de las algas del sistema.

También puede citarse el “taponamiento” que se produce en el sustrato de cultivo producto del desarrollo radicular de los vegetales, el cual permanece como materia orgánica luego de las cosechas y debe ser removido periódicamente entre ciclos de cultivo (Extracción y lavado completo del sustrato para su reutilización). No debe descartarse la utilización de esta biomasa para su utilización en compost o biodigestores, para la producción de energía y fertilizantes biológicos.



Bibliografía consultada

Caló, P. ;2011. Acuaponía. Dirección de acuicultura. Ministerio de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación.

Candarle, P. & Wicki, G.; 2022. Evaluación del crecimiento y rentabilidad de dos especies piscícolas, *Oreochromis niloticus* y *carassius auratus*, en un sistema acuapónico de pequeña escala. <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/Informes/> (Revisado 12/4/2024)

Castañares, J. L.; 2020. ABC de la hidroponía. INTA. INTA Digital <https://repositorio.inta.gob.ar>

FAO; 2022. El Estado mundial de la pesca y la acuicultura. Hacia la transformación azul FAO – Rome, Italy #288p. FAO <https://doi.org/10.4060/cc0461es>

Gómez E., Ferré H., Cassará H. y Bordone S.; 1997. Cultivo de peces ornamentales (*Carassius auratus* y *Cyprinus carpio*) en sistemas semiintensivos en la Argentina. Boletín Técnico N° 4- Instituto de limnología Dr. Raúl A. Ringuelet

Luchini L.; 2006. Tilapia: su cultivo y sistemas de producción. Dirección de Acuicultura.

Marshall E. Ostrow; 2003. Goldfish: everything about aquariums, varieties, care, nutrition, diseases, and more, Barron's Educational Series.

Rakocy, J.E.; 1999. The status of aquaponics Part 1. Aquaculture Magazine. Julio-Agosto. Pp 83 – 88. USA.

Rakocy, J.E, Shultz, R.C, Bailey, D.S. y Thoman, E.S.; 2004. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. Acta Horticulturae (ISHS) 648: 63-69.

Rakocy, J.E, Masser, M.P y Losordo, T.M.; 2006. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture.Southern Regional Aquaculture Centre Publication No. 454.Southern Regional Aquaculture Centre, USA.

Resh, H.M.; 1995. Hydroponic food production: a definitive guidebook of soilless food-growing methods. Woodbridge Press Publishing Company, Santa Barbara, CA.

Smartt J.; 2001. Goldfish varieties and genetics. Handbook for breeders. Fishing News Books.

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.



