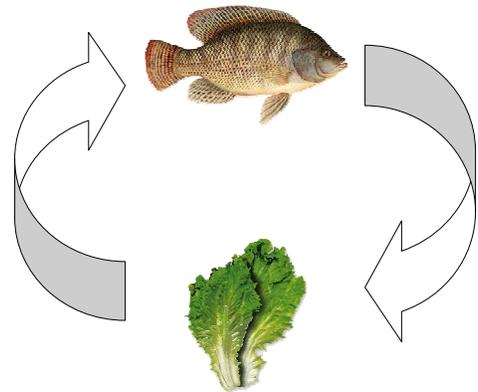


Introducción a la Acuaponia

Por Pablo Caló, Centro Nacional de Desarrollo Acuícola- CENADAC. (2011).

Introducción: La acuaponia constituye una integración entre un cultivo de peces y uno hidropónico de plantas. Estos se unen en un único sistema de recirculación, en el cual se juntan, el componente acuícola y el componente hidropónico. En este sistema, los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimento, son utilizados por los vegetales y transformados en materia orgánica vegetal. De esta forma se genera un producto de valor a través de un subproducto desechable, con la ventaja de que, el agua libre ya de nutrientes, queda disponible para ser reutilizada. Gracias a esto, los sistemas acuapónicos trabajan sobre dos puntos de gran interés en producción, rentabilidad y tratamiento de desechos (Rakocy, 1999).

Estos sistemas ofrecen una serie de ventajas sobre aquellos sistemas de recirculación en los que solo se producen peces. Los desechos metabólicos disueltos en el agua son absorbidos por las plantas, reduciendo así la tasa de recambio de agua diario y su descarte hacia el ambiente; mientras que en el sistema de recirculación tradicional se trabaja con un recambio de agua del 5 al 10 % diario para evitar la acumulación de desechos metabólicos. En el acuapónico, por el contrario, la mayoría trabaja solo con un 1,5 % de recambio de agua diario o menos (Mc Murtry, 1997). Esto se traduce en menores costos operativos del sistema y sumado a ello, los sistemas acuapónicos tienen una segunda producción de plantas, aumentando así, la rentabilidad productiva.



Los primeros ensayos publicados en acuaponia se remontan a la década del '70, donde se demostró que los desechos metabólicos que los peces generaban podían ser utilizados para el cultivo de plantas, en forma hidropónica (Lewis, 1978). Sin embargo, no fue sino hasta la década del '90 que se empezaron a obtener datos concretos aplicables a producciones comerciales. Rakocy, es considerado uno de los más importantes investigadores en el área. Radicado en la Universidad de las Islas Vírgenes, desarrolló un sistema de cultivo acuapónico que lleva en funcionamiento más de 25 años. Con dicho sistemas fueron realizadas numerosas experiencias, obteniendo valiosos resultados para el desarrollo de la actividad.

En los primeros ensayos de acuaponia, se utilizaron lechos ocupados con diferentes sustratos, como arena (Lewis, 1978) o grava (Rakocy, 1999). Si bien estos sistemas siguen siendo utilizados actualmente, quedo claro que no son los mejores a la hora de trabajar con altas cargas de peces, tapándose con facilidad y por ello, han sido dejados de lado a la hora de pensar en una escala comercial.

Actualidad: A nivel mundial esta actividad cuenta con dos grupos. El primero de ellos, está constituido por quienes llevan adelante sistemas acuapónicos de manera doméstica o aficionada,

con fines ornamentales o de autoconsumo. El segundo grupo está representado por quienes llevaron la acuaponia a una escala comercial, haciendo de esta una actividad rentable.

La utilización de un sistema acuapónico de manera casera o doméstica, es una excelente opción cuando se pretende tener un aporte de alimento auto-producido. En Australia, los sistemas acuapónicos domésticos de baja escala son muy utilizados (Diver, 2006) y es común encontrar sistemas configurados para funcionar en espacios reducidos de aproximadamente dos metros cuadrados. Estos sistemas domésticos en general, son diseñados para no utilizar gran mano de obra, no requiriendo entonces, de mucho tiempo para su manejo. Otra posibilidad que presentan estos sistemas domésticos, es su uso con fines ornamentales, ya que un simple acuario, puede sencillamente utilizarse para crear un sistema acuapónico, mediante la adición de un componente hidropónico. Con la aparición de datos concretos sobre producción en acuaponia, comenzaron a aparecer producciones comerciales. Existe una gran cantidad de emprendimientos, considerando que se trata de una actividad relativamente novedosa. Dentro de este grupo, se pueden mencionar los siguientes: *S & S AquaFarm*: desarrollan el cultivo de tilapias y diversas hortalizas en sistemas de lechos de leca; *Universidad de las Islas Vírgenes*: desarrollan el cultivo de tilapias y diversas hortalizas en sistemas de balsas flotantes; *Murray Hallam*: desarrolla el cultivo de perca plateada y murray cod, combinada con todo tipo de plantas en lechos de grava, desde



adelante un cultivo de trucha arco-iris

mamón hasta lechugas y *Herbs from wales*: llevan combinado con hortalizas en lechos de leca.

Descripción del funcionamiento de un Sistema de Recirculación por Acuicultura –SRA:

Un SRA, es un sistema a través del cual se pueden cultivar organismos acuáticos en forma intensiva. Esto implica utilizar pequeños espacios para lograr altas producciones, a través de la aplicación de tecnologías de tratamiento del agua. Existen una gran cantidad de filtros utilizados en el tratamiento de agua, y si bien no es la intención de la presente recopilación ahondar en este tema, se separarán los dos grupos principales utilizados en acuaponia y que son los mecánicos y los biológicos.

Los filtros mecánicos se sitúan inmediatamente a continuación del tanque que contendrá los peces y se destinan a eliminar todas las partículas sólidas en suspensión que existan en el sistema. Si dichos sólidos quedaran dentro del sistema, tapan cualquier otro filtro que se intente colocar, y en un corto plazo, se interrumpiría el correcto funcionamiento del sistema. Es por esto, que los sólidos en suspensión son los primeros en eliminarse en un sistema de recirculación.

Los filtros biológicos, se colocan a continuación de los mecánicos y se emplean con el objetivo de transformar biológicamente los desechos metabólicos generados por los peces. A partir de ellos, se obtienen sustancias menos tóxicas que puedan permanecer en el sistema. Este proceso,

se lleva a cabo por medio de las bacterias que crecen sobre el filtro, en presencia de los desechos metabólicos. Estas bacterias, requieren de una superficie de contacto donde alojarse. En resumen, un filtro biológico es una estructura que posee en muy poco lugar, una gran superficie de contacto, donde con el tiempo, se alojan las bacterias necesarias para la filtración. Más allá de la filtración que pueda existir en un sistema de recirculación, es necesaria una mínima renovación de agua en el mismo (5% - 10%), con la finalidad de mantener los parámetros físico-químicos en niveles tolerables para los peces.

Descripción del funcionamiento de un sistema hidropónico: Un cultivo hidropónico es un cultivo vegetal en el que no se emplea suelo alguno. Para lograrlo, se emplean diferentes técnicas para fijación de las plantas, las que mantendrán sus raíces en contacto con una solución nutritiva. Los nutrientes presentes en el agua son absorbidos por ellas a medida que crecen, incorporándose nuevamente a la solución. En el agua, deberán mantenerse los parámetros físico-químicos que favorezcan el crecimiento de las plantas. Esta técnica de cultivo permite lograr mejores rendimientos por unidad de área, en comparación con los cultivos en tierra, además de obtención de productos de mejor calidad que los obtenidos en ella.

Existen tres sistemas de cultivos hidropónicos: a) técnica de film nutritivo (NFT por su nombre en inglés, “Nutrient Film Technique”), b) lecho de sustrato y c) balsas flotantes o piletas profundas.

- **NFT:** Estos sistemas son interesantes primeramente, desde el punto de vista espacial. Consisten en hacer correr una película de solución nutritiva muy fina a lo largo de un canal de cultivo, lo que permite agrupar plantas y obtener rendimientos altos por unidad de superficie. Existen incluso diseños de sistemas NFT verticales donde se aprovechan muros, creando así, cultivos verticales. Al atravesar todo el canal de cultivo, el agua retorna al reservorio. Las plantas son contenidas en algún recipiente plástico ranurado o similar suspendido sobre el canal, permitiendo que sus raíces alcancen el nivel del agua. Este sistema es muy utilizado para plantas pequeñas (lechugas, radicheta, perejil, rúcula, albahaca, etc.) que no necesitan gran sostén.
- **Lecho de sustrato:** Se trata de contenedores como cajones, bateas, artesas, etc., llenos de un sustrato inerte que sirve de sostén a las plantas. Dichos contenedores no suelen tener más de 30 cm de profundidad, ingresando el agua por uno de sus extremos y egresando por el opuesto, retornando así al reservorio. Son utilizados para todo tipo de plantas pero en especial, son muy útiles para aquellas plantas que necesitan buen sostén por su peso, como son los tomates, pimientos, etc., o bien, son empleados en condiciones climáticas adversas, como los vientos. Además, proporcionan un excelente medio de cultivo para especies rastreras o con tubérculos como son los zapallos, melones, cebollas, remolachas, zanahorias, etc. En estos sistemas, se emplean diferentes tipos de sustratos: Leca, donde su denominación corresponde los términos ingleses de Light Expanded Clay Aggregate; grava, canto rodado, arena, aserrín, viruta, turba, perlita, vermiculita, etc.
- **Balsas flotantes:** Los sistemas de balsas flotantes se caracterizan por no necesitar reservorio de agua aparte de la zona de cultivo, constituyendo por si misma el reservorio. Se utilizan contenedores similares a los de lecho de sustrato pero en este caso se encuentran enteramente llenos de solución nutritiva. Flotando sobre esta, se coloca una plancha de tergopol o similar de espesor adecuado (4-5 cm), en la que se efectúan perforaciones donde se colocan las plantas, sostenidas por vasos plásticos ranurados. De esta forma, las raíces

quedan inmersas en la solución nutritiva. La solución debe ser aireada mediante burbujeo de manera continua, asegurando así, una buena oxigenación a la solución.

Descripción del funcionamiento de un sistema acuapónico: Manteniendo los fundamentos generales descriptos con anterioridad, un sistema acuapónico puede funcionar de diferentes formas según su configuración. No obstante existe cierta generalidad para el diseño aplicado a cualquier sistema y puede ser descripta por el siguiente esquema:

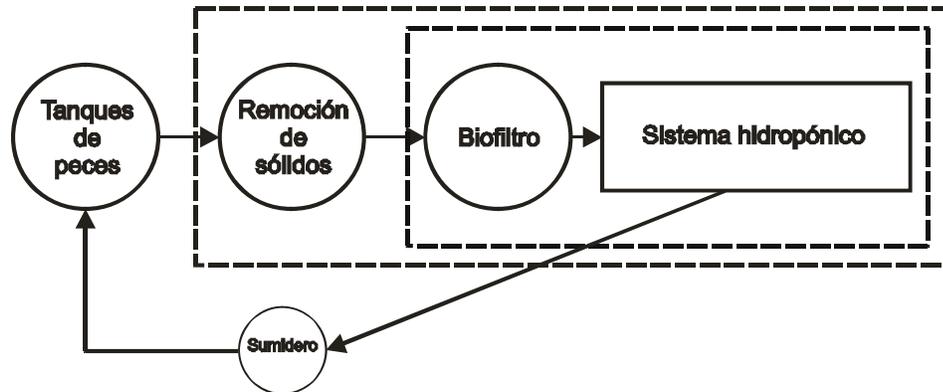


Figura 1: Configuración típica de un sistema acuapónico. Los componentes encerrados con línea punteada pueden ser construidos en un único sistema combinado (Rakocy, 2006).

Remoción de sólidos: La remoción de sólidos en suspensión es llevada a cabo por el filtro mecánico que constituye la parte fundamental del sistema acuapónico. Los sólidos en suspensión pueden, de llegar a las raíces de las plantas, tapanlas, impidiendo una correcta absorción de nutrientes. Dependiendo del componente hidropónico utilizado, el filtro mecánico puede obviarse, lo que se explicará más adelante.

Biofiltración: La biofiltración cumple con dos objetivos en el sistema acuapónico. Ambos obtenidos a partir de un mismo proceso: la nitrificación. El primero, es el de transformar el nitrógeno amoniacal (NAT) excretado por los peces como desecho metabólico, en un compuesto menos tóxico para ellos y el segundo, la obtención de un compuesto asimilable por las plantas. Dichos procesos, son realizados por un grupo de bacterias que se alojan en los filtros biológicos (así como en cualquier superficie del sistema) obteniéndose como resultado final, nitratos (NO_3^-). Este componente inorgánico es el menos tóxico nitrogenado (hasta 300 mg/l, DL50, según la especie) y constituye la forma de nitrógeno asimilada por las plantas (Bernal Melo, s/f).

La fuente de nutrientes en los sistemas de acuaponía son los desechos metabólicos generados por los peces al alimentarse, ya que solo un 35 a 40 % del alimento consumido es asimilado y transformado en carne, mientras que el resto (60-65 %) se excreta hacia la columna de agua (Jchapell, 2008). Estos desechos a su vez son transformados por las bacterias presentes en los filtros biológicos. Así la cantidad de nutrientes que un sistema genere, estará directamente relacionada con la cantidad de alimento que ingieran los peces. En general, la cantidad de plantas que pueda sostener un sistema acuapónico, estará supeditada a la cantidad de alimento que los peces presentes, ingieran. Por su parte, cada sistema tendrá una capacidad determinada para filtrar biológicamente los desechos metabólicos y esta capacidad de filtración será la que impondrá la cantidad de alimento que pueda ofrecerse como máximo a los peces.

Por lo descrito, se observa como las comunidades presentes estos sistemas de peces, plantas y bacterias, están relacionadas entre si. El balance de cargas es algo que debe tenerse muy en cuenta a la hora de montar este sistema. Todos los componentes hidropónicos utilizados en acuaponía poseen características de funcionamiento y balances diferentes.

El sistema NFT: Los sistemas NFT dentro de la acuaponía, son de los más difundidos en el rubro hidropónico. Esto se debe a una instalación práctica y a su amplia versatilidad a la hora de configurarlos en el espacio, ya que pueden ser ubicados de tal forma que ocupen muy poco espacio. A su vez, al ser tan delgada la película de agua que corre por los canales, ésta siempre se encontrará bien oxigenada, lo que permite que solo deba oxigenarse el agua del contenedor de los peces. Por otro lado, se necesita la colocación de un filtro mecánico que remueva los sólidos en suspensión, ya que estos pueden obstruir las raíces de las plantas, perdiendo así su capacidad de absorción de nutrientes. Dada la poca superficie de contacto para la fijación de bacterias que ofrecen los sistemas NFT, es imprescindible el empleo de un filtro biológico que efectúe la nitrificación, antes de ingresar al componente hidropónico.

Por su bajo volumen de agua, los sistemas NFT son en general susceptibles a los bruscos cambios de las variables hidrológicas. En lugares con gran variación de temperatura ambiental, un sistema NFT no será capaz de mantener la temperatura del agua. También, el pH puede sufrir cambios bruscos en poco tiempo, afectando especialmente a los peces.

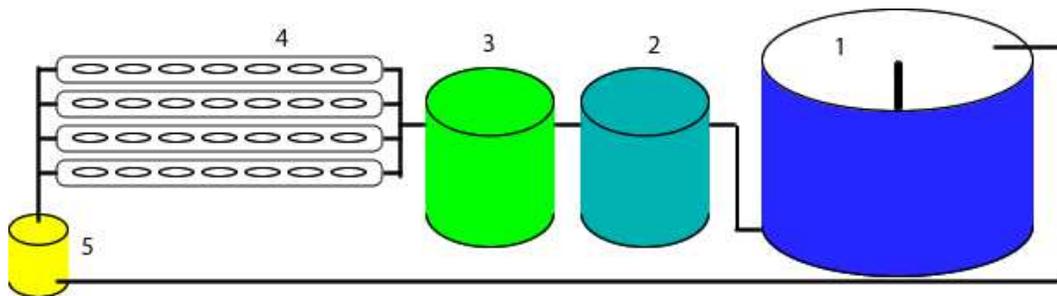


Figura 2. Diseño genérico de un sistema NFT. Referencias: 1: tanque de peces; 2: filtro mecánico; 3: filtro biológico; 4: componente hidropónico; 5: sumidero con bomba.

Utilizando lechos de sustrato: Los lechos de sustrato son muy útiles en el sistema acuapónico de baja escala, que no alcanzan a ser comerciales. Esto es debido a dos principios: a) son de muy fácil uso y mínimo mantenimiento, sin requerir de la aplicación de mayor tecnología, lo que lo hace ideal para instalaciones hogareñas y b) por su funcionamiento, éste no tolera altas cargas de peces, haciéndolo poco viable para una escala comercial.

Sin duda, una de las mayores ventajas al utilizar lechos de sustrato, es que se elimina la necesidad de emplear filtros, tanto mecánicos como biológicos; ya que ambas tareas las realiza el propio sustrato. Este retiene los sólidos en suspensión, impidiendo que permanezcan en el flujo de agua y además, el pasaje del agua a través del sustrato, permite que el mismo funcione como filtro biológico; haciendo que todo el sustrato quede disponible para la fijación de las bacterias.

Existen dos maneras de manejar el flujo de agua en un lecho de sustrato, la primera de manera continua, donde permanentemente el agua ingresa por un extremo del sistema y egresa por el otro, o directamente aplicando un goteo constante en la zona de las plantas (Figura 3). El

segundo y más recomendado, es un sistema por pulso de inundación, donde el lecho es inundado y vaciado de manera constante (Figura 4).

Los sistemas de flujo constante son fáciles de instalar por su sencillez, pero son ineficientes a la hora de mantener el lecho de grava oxigenado, ya que el mismo estará permanentemente sumergido. Por su parte, los sistemas de flujo constante que aplican un goteo continuo en la zona de plantas tienden a taparse, dado que el agua que ingresa al componente hidropónico llega con muchos sólidos en suspensión que obstruye las finas salidas de agua.

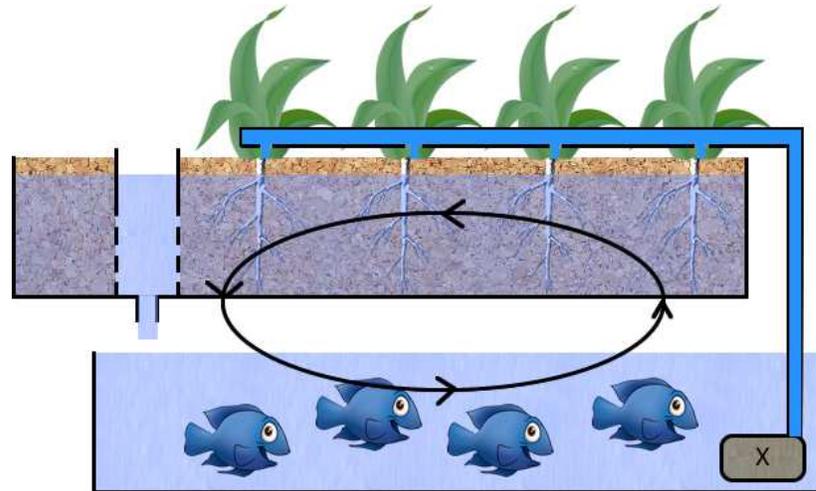


Figura 3: Sistema con flujo continuo. Referencia: X: Bomba de agua

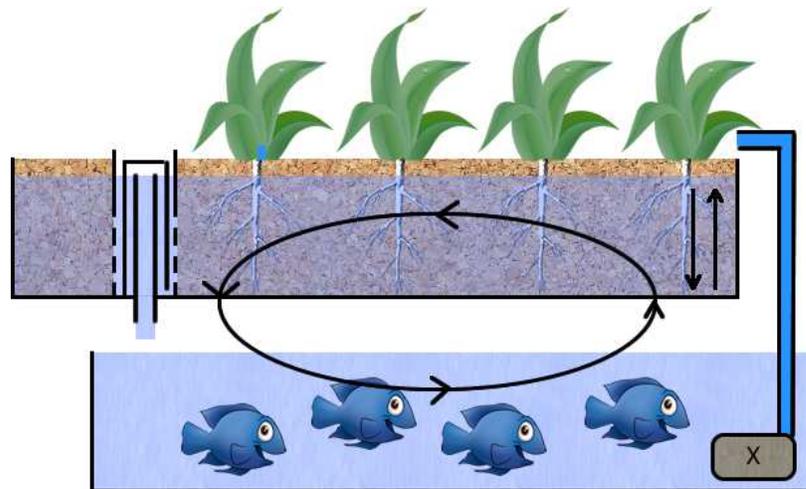


Figura 4: Sistema por pulsos de inundación. Sifón Campana. Referencia: X: Bomba de agua.

Los sistemas por pulsos de inundación requieren de un mayor cuidado a la hora de instalarlos, pero una vez que están en funcionamiento son muy confiables. Estos pulsos de inundación pueden realizarse de dos formas, la primera por sifones automáticos y la segunda, por controles a través de relojes. El sifón automático por excelencia aplicado en acuaponía, es el conocido como “sifón campana”. Este se basa en un sistema de doble caño, en el cual una vez que el agua

alcanza cierto nivel, se generará el efecto sifón, que será cortado por un ingreso de aire en la tubería colocada en el nivel mínimo de agua que el usuario desee para su sistema. La utilización de relojes es ligeramente más sencilla, dado que solo basta con configurar un reloj que active una bomba de agua desde el tanque de peces hacia el lecho de sustrato, con determinada frecuencia. Estos sistemas, al mantener un período inundado y un período vacío, obligan a que todo el lecho del sustrato tenga contacto directo con el aire, generando así una oxigenación óptima del sistema; beneficiando tanto a las raíces de las plantas como a las bacterias alojadas en el sustrato.

La gran desventaja de este sistema, es que cuanto mayor sea la carga de peces, mayor posibilidad tendrá el lecho de sustrato de taparse, creándose zonas anaeróbicas que causarán mala calidad de agua y a su vez perjudicará a las raíces. Es por ello, que estos sistemas, más que cualquier otro tienden a soportar baja carga de peces comparada con la carga de plantas.

Las balsas flotantes: El sistema de balsas flotantes, es el que mejor se adapta para una producción en escala comercial. Ello se debe a la practicidad del manejo del componente hidropónico, permitiendo que tanto las cosechas como las siembras, se realicen de manera ágil y ordenada. A su vez, debido al funcionamiento del mismo, permite utilizar una alta carga de peces, lo que genera mejores rendimientos para el componente acuícola. El sistema de balsas flotantes genera una gran cantidad de superficie de contacto para la fijación de bacterias, de tal forma que no se requiere la utilización de filtros biológicos. La gran masa de agua en el sistema, permite su gran inercia térmica, evitando así grandes fluctuaciones, haciéndolo óptimo para zonas con grandes variaciones de temperatura.

Se considera indispensable, la aplicación de un filtro mecánico que retenga los sólidos en suspensión, evitando que estos entren al componente hidropónico, evitando que las raíces se tapen y pierdan capacidad de absorción de nutrientes. Otro requerimiento del sistema es la aplicación de aire. Debe mantenerse siempre el oxígeno por encima de los 3 mg/L, siendo el óptimo, por encima de 5 mg/L. En este caso, se deben emplear sopladores, que a través de piedras difusoras colocadas en todo el sistema, generen la cantidad de oxígeno necesaria en el agua.

Especies para cultivos: Las especies que pueden ser cultivadas en sistemas acuapónicos, tanto de plantas, como de peces son variadas. No obstante, la combinación de ambas (peces y plantas) deberán ser seleccionadas con atención a la hora de realizar la operación. Debe considerarse que las dos especies tengan requerimientos similares en cuanto a temperatura y pH, ya que así se lograrán los mejores resultados. Siempre habrá algún compromiso para con cualquiera de las especies, y esto se debe a que la mayoría de las plantas prefieren un pH que ronde los 5,5 puntos, mientras que los peces prefieren un pH de 7,5. Se han realizado pruebas de cultivo con varias especies de peces en sistemas acuapónicos:

- Pacú; Murray Cod; Randiá; Channel catfish; Tilapia; Large mouthbass; Sunfish; Carpa koi; Carpa común y peces ornamentales (guppies, espadas, carassius, pez ángel, mollies, etc.)

Lo propio se ha hecho para plantas, habiéndose probado ya, en forma práctica todo tipo de plantas: hortalizas (lechuga, acelga, radicheta, rúcula, perejil, escarola, espinaca, etc.); vegetales varios (tomate, pimientos, melón, coliflor, brócoli, arvejas, zanahoria, cebolla, etc.); hierbas aromáticas (Menta, albahaca, cilantro, orégano, etc.); plantas acuáticas (loto, lemna, elodea, vallisneria, etc.) y ornamentales (helechos, florales, etc.).

Para la elección de los vegetales a cultivar, debe tenerse en cuenta que cuanto mayor demanda nutricional necesite una planta (como por ejemplo, las plantas frutales), los sistemas deberán mantener una mayor carga de peces que generen nutrientes suficientes. También es importante para estos cultivos de gran demanda nutricional, utilizar sistemas que se encuentren maduros, esto significa, sistemas que lleven funcionando más de 6 meses, preferentemente, un año. Un sistema maduro podrá generar mejor calidad de nutrientes y de una forma más estable.

Manejo de plagas y enfermedades en las plantas: El control de plagas y enfermedades existentes en un cultivo acuapónico, siempre es un tema importante a tratar y que requiere de especial atención. Ello es debido a que no pueden utilizarse pesticidas tradicionales, ya que se correría el riesgo de producir la muerte de los peces. Es por esto, que todos los métodos de control y cura de las plagas o las enfermedades deberán ser de carácter orgánico.

Algunas de las recomendaciones a tener en cuenta para un manejo integral de plagas:

- Tener un plan de manejo previo a la aparición de problemas;
- Revisar periódicamente las plantaciones en busca de plagas o síntomas;
- Llevar registros;
- Elegir variedades de plantas resistentes;
- Mantener acciones preventivas para plagas conocidas;
- Utilizar más de un método de control.

El productor deberá ser capaz de identificar cuáles son los organismos causantes de problemas, como así también, cuáles son sus síntomas. Una vez identificado el problema, este deberá ser tratado inmediatamente. Deberá asimismo, quedar registrada la cura aplicada y sus resultados, detallando el progreso y el tiempo transcurrido. Para prevenir la aparición de plagas, es importante mantener la limpieza de los alrededores. Las herramientas utilizadas deben ser desinfectadas y en lo posible, solamente utilizadas en el sistema



acuapónico. El pasto debe mantenerse cortado y las malezas eliminadas, ya que las plagas siempre provienen desde el exterior del sistema. Otro elemento a tener en cuenta es la intercalación de cultivos; ya que es más probable que aparezcan plagas en monocultivo que en policultivo. De hecho existen muchas combinaciones (generalmente con plantas aromáticas) que repelen los insectos (ANEXO I).

Las plagas que pueden afectar los cultivos son varias. El *Pythium*, es un hongo que afecta las raíces de las plantas cuando la temperatura del agua se mantiene por encima de los 27°C. No existe tratamiento conocido para esta afección, salvo la disminución de la temperatura. Se detecta porque las raíces comienzan a ponerse oscuras, terminando luego de un tiempo con la muerte del vegetal; llegando a producir el decaimiento de la producción (Rakocy, 1997). Los gusanos y orugas son insectos de lo más comunes y pueden tratarse con la aplicación de un

producto llamado BT. Se trata de una bacteria, el *Bacillus thuringiensis*, que le confiere su nombre al producto.

Este tratamiento es común en cultivos orgánicos y debe aplicarse periódicamente. Los insectos como moscas, ácaros, áfidos o chinches no son comunes, pero si se hicieran presentes, pueden ser tratados con melasas diluidas y rociadas sobre las hojas de las plantas. Existen otras recetas, de tipo caseras, para control orgánico de plagas en plantas (ANEXO II). Una de las más comunes, es la aplicación de jabón blanco diluido en agua y rociado sobre las hojas. A la hora de utilizar cualquier producto que actúe por contacto directo con las plagas, es necesario contemplar su esparcimiento sobre toda la superficie de la planta. Además, en plantas muy cerradas deberán moverse las hojas con la mano para que el producto que se está aplicando, llegue de manera correcta a toda la superficie foliar.

Calidad de agua: La calidad de agua debe tener la mayor atención del productor para que el sistema funcione bien, debido a que este es el medio en el cual conviven peces y bacterias y del cual las plantas obtienen sus nutrientes. Es por esto que el agua debe tener la calidad suficiente como para mantener adecuadamente a las tres comunidades existentes en el sistema acuapónico. Algunos parámetros físico-químicos del agua deben ser medidos en forma diaria (temperatura, oxígeno disuelto y pH), mientras que otros pueden ser medidos de manera periódica (NAT, nitritos y nitratos).

Compuestos nitrogenados: El NAT se compone de amonio no ionizado (NH_3) y amonio ionizado (NH_4^+), originado en el metabolismo de las proteínas realizada por los peces y la descomposición orgánica de los desechos sólidos en el sistema (Losordo, 1998). El amonio no ionizado es extremadamente tóxico para los peces, y su cantidad depende del pH y la temperatura del agua (Tabla 1). Diferentes estrategias de filtración biológica, han sido utilizadas para el control del NAT, inclusive la utilización de minerales como la zeolita que han sido evaluados con resultados alentadores (Rafiee, 2006).

Si bien no se encuentran bien definidos los efectos sub-letales del amoníaco (Losordo, 1998), concentraciones bajas desde 0,02 a 0,07 mg/L han demostrado reducir el crecimiento y provocar daños en los tejidos branquiales en especies de aguas cálidas (Masser, 1999). Los nitritos son un producto intermedio en el proceso de nitrificación y así como el amonio no ionizado, son tóxicos también en concentraciones relativamente bajas, dependiendo de la especie a cultivar. Concentraciones de 0,5 mg/L son estresantes para el channel catfish (*Ictalurus punctatus*), mientras que concentraciones de 5 mg/L parecen causar un ligero estrés en el caso de la tilapia (Masser, 1999).

Los nitratos son el producto final del proceso de nitrificación y es la forma nitrogenada menos tóxica para los peces. Dependiendo de la especie de peces bajo cultivo, ellos no alcanzarán a ser tóxicos, sino hasta llegar a los 300 ppm. No obstante, esta concentración de nitratos nunca alcanza a estar presente en un sistema, debido al recambio de agua diario, con lo cual no producirán grandes problemas (Masser, 1999).

Tabla 1. Porcentaje de amonio no ionizado sobre el nitrógeno amoniacal total a diferentes valores de pH y temperatura.

pH	Temperature (oC)								
	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7.0	0.30	0.34	0.40	0.46	0.52	0.60	0.70	0.81	0.95
7.4	0.74	0.86	0.99	1.14	1.30	1.50	1.73	2.00	2.36
7.8	1.84	2.12	2.45	2.80	3.21	3.68	4.24	4.88	5.72
8.2	4.49	5.16	5.94	6.76	7.68	8.75	10.00	11.41	13.22
8.6	10.56	12.03	13.68	15.40	17.28	19.42	21.83	24.45	27.68
9.0	22.87	25.57	28.47	31.37	34.42	37.71	41.23	44.84	49.02

PH: El pH es un factor que interviene en varios procesos. El primero, es el mencionado con anterioridad, llamado nitrificación. Este puede ocurrir en un rango muy variado de pH como 6 a 9 (Wheaton et al., 1994) pero algunos autores sostienen que el rango óptimo se encuentra entre 7,2 a 7,8 (Loveless & Painter, 1968, en Timmons et al. 2002). También interviene en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya que nutrientes esenciales como el hierro, manganeso, cobre, zinc y boro, se encuentran menos disponibles para las plantas a pH mayores de 7,5; mientras que la solubilidad del fósforo, calcio y magnesio, disminuye con pH menor a 6 (Rakocy, J. en Timmons, 2002) (ANEXO III). Por último, el pH debe ser adecuado para la especie de pez que se desee cultivar, siendo en general, valores dentro de un rango de 7 a 7,5, para todas las especies.

Mantener en nuestro sistema acuapónico un pH de 7 hará que el mismo funcione en forma correcta. No obstante, no se debe dejar de tener en cuenta que una precisa nitrificación, resultará en ácido carbónico, que hará que el sistema tienda a disminuir su pH. Normalmente, en sistemas de recirculación ello se resuelve añadiendo bicarbonato de sodio, pero en un sistema acuapónico, no debe ser utilizado. La acumulación de Sodio, combinado con la presencia de Cloro, es tóxica para las plantas (Resh, 1995 en Timmons, 2002). El descenso de pH en sistemas acuapónicos puede ser subsanado con Hidróxido de Calcio, Hidróxido de Potasio, Carbonato de Calcio o Carbonato de Potasio, según la conveniencia del productor.

Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto no requiere de tantos detalles como el pH. Simplemente cabe mencionar que este gas, debe mantenerse por encima de 3 mg/L, siendo preferible una concentración igual o mayor a 5 mg/L. De encontrarse disminuido el oxígeno en el sistema, no se realizará una buena nitrificación; restando desechos metabólicos sin filtrar y acumulándose en concentraciones tóxicas para los peces. Los peces y plantas ante la ausencia de oxígeno, dejan de crecer, y en el caso particular de los peces, pueden dejar de alimentarse y morir. Un buen momento para la medida del oxígeno, es luego de alimentar, cuando el metabolismo de los peces se incrementa.

Hierro: Los sistemas acuapónicos suelen tener deficiencias en hierro, y esto se debe a que este es, dentro de los nutrientes, el que menor pH requiere para permanecer disponible (ANEXO III). Por ello, es muy común tener que suplementar el hierro en sistemas acuapónicos. El hierro debe ser agregado al sistema de manera quelada para que este sea asimilado por las plantas (EDTA-Fe, DTPA-Fe, etc.). Agregando hierro cada 3 semanas para lograr una concentración de 2 mg/l, se obtienen buenos resultados en los sistemas de balsas flotantes (Rakocy). Para otros sistemas,

deberán determinarse en cada caso cuales son las necesidades. La deficiencia en hierro se observa por el color amarillento de las hojas de las plantas; aunque con experiencia, puede notarse que el crecimiento disminuye. Lo importante es la observación diaria para detectar cualquier deficiencia.

Tipos de planes de manejo: Existen diferentes manejos para la producción tanto de plantas como de peces. A la hora de elegir alguno, se deberán tener en cuenta varios factores. El primero se refiere a la concentración de nutrientes en el agua, no debiendo existir grandes variaciones en los niveles de nutrientes del sistema, para lo cual deberá tratarse que tanto el ingreso de alimento como la absorción de nutrientes sean lo más equilibradas posibles.

Plantas: En países donde las producciones hortícolas son difíciles de llevar a cabo por las causas que fuere, estos productos son de gran valor en mercado. Es por esto que bajo estas circunstancias, los cultivos acuapónicos generan mayor ingresos por plantas que por peces. Este hecho no fue observado en Argentina, donde la tradición hortícola hace que siempre exista una buena oferta de estos productos. Por el contrario, se ha observado en análisis de rentabilidad que los mayores ingresos provendrían de los peces, que en general, gozan de buenos precios de mercado. Los cultivos acuapónicos, más allá de su configuración y diseño, siempre producen mayores ingresos a través de las plantas. Es por esto que debe tenerse especial cuidado en el cultivo de éstas y manejar siempre el sistema beneficiando a las plantas, ante el resto de los componentes. Será importante, plantear una estrategia de cultivo ordenada en todo momento, lo que permitirá diagramar esquemas de siembra y cosecha, otorgando una pauta de cuál va a ser la producción a obtener.

Cultivo por lote: El manejo por lote se basa en la siembra del total de la superficie para plantas de una vez, esperando a que su cultivo alcance el peso o tamaño necesario para la comercialización y luego cosecharlo todo para volver a sembrar. Es un buen sistema para cultivos de larga duración como el de tomates o morrones (3 meses). Este sistema tiene como ventaja su fácil manejo, dado que una vez sembrado, solo habrá que esperar a que alcancen su peso comercial, sin otro punto que el control de las plagas. Sin embargo, presenta más de una desventaja. El consumo de nutrientes por parte de las plantas no será parejo, puesto que estas consumirán mucha menor cantidad en las primeras etapas del cultivo que sobre el final del mismo. Los cultivos por lote, tienden a generar una caída brusca de los nutrientes, haciéndose evidente al tercer ciclo de producción (Rakocy, 2004). En lo referente a su economía, no generan un flujo constante de dinero, por lo que debe manejarse con cautela el sistema, para alcanzar la temporada de cosecha.

Cultivo escalonado: El manejo escalonado se basa en dividir la superficie de cultivo en varios sectores, teniendo en cada uno de estos sectores una fase de cultivo diferente. Un ejemplo sencillo consistiría en tener una planta cuyo crecimiento se prolongue por 4 semanas, separando el cultivo en 4 y teniendo 4 fases diferentes del cultivo. Esto llevaría a que una vez por semana se cosechara un cuarto del cultivo, e inmediatamente, se volviera a sembrar. Este método es ideal para cultivos de corta duración como lechugas u otras plantas de hoja (Rakocy, 2004). Este es el manejo que mejor se adapta a una extracción de nutrientes equilibrada y continua. El cultivo nunca deja de tener plantas y a su vez siempre se cuenta con un tamaño de plantas muy similar. Económicamente, el flujo de dinero, es más parejo y menos espaciado que cultivando por lote, con lo cual es más fácil la organización financiera. La desventaja principal que presenta este sistema de cultivo, es que requiere de mayor mano de obra; teniendo que estar permanentemente cosechando y sembrando en el sistema. A su vez, también debe efectuarse las siembra en forma

permanente de las semillas, obteniendo los plantines en el caso de una producción propia, o bien, mantener un proveedor responsable que cumpla con la demanda necesaria.

Intercultivos: Los intercultivos consisten en cultivar diferentes especies, unas de ciclo largo y otra de ciclo corto. Por ejemplo, si se cultivan tomates con lechugas, se podrá obtener una cosecha de lechuga antes de que el follaje de las plantas de tomate produzcan mucha sombra. Este sistema, requiere de una buena puesta a punto por parte del productor, y no siempre generará una constancia en las cosechas.

Peces: Será raro para quien provenga del mundo de los peces, adaptarse a que estos no constituyan el cultivo principal dentro del sistema acuapónico. No obstante, esto no es motivo para no planificar una estrategia destinada al cultivo de los peces. Será de gran importancia que la cantidad en peso de los peces en el sistema, sea lo más pareja posible en el tiempo, asegurando así una generación de nutrientes constante. Para lograrlo, se deberá tener muy en cuenta la escala del sistema y seleccionar una opción de manejo acorde a la misma.

Cultivo escalonado: El cultivo escalonado de peces, tiene el mismo principio de manejo que el cultivo escalonado de plantas. Suponiendo un período de crecimiento de 24 semanas, si se quisiera utilizar 4 tanques de peces, se deberían sembrar los tanques de a uno, con 6 semanas de diferencia. Esto significará que en la semana 18, se obtendrán los 4 tanques sembrados y en la semana 24 de efectuará la cosecha de los peces del primer tanque sembrado, volviendo a sembrarlo inmediatamente. De esta forma, siempre existirá una cantidad en peso (biomasa) similar en el total del sistema, lo que permitirá que el ingreso de alimento y por ende la generación de nutrientes, sea equilibrada y estable. Este tipo de manejo es ideal para sistemas grandes, comerciales, porque genera cosechas regulares y permite una buena planificación de la producción.

Cultivo de cohortes múltiples: El cultivo de cohortes múltiples se utiliza en sistemas pequeños, donde solo se cuenta con un único tanque de peces y se pretenda realizar cosechas regularmente, tratándose en general, de sistemas caseros. El método consiste en colocar en un mismo tanque más de una cohorte de peces. El resultado será que la cohorte más grande llegará a una talla de cosecha antes que el resto. En el momento de la cosecha, deberá sembrarse la misma cantidad de peces cosechados, pero de menor tamaño que todos los presentes en el tanque. Esto hará que el ingreso de alimento y generación de nutrientes sea bastante equilibrada. Este manejo no debe ser aplicado a sistemas comerciales, pues no presenta una gran exactitud. Además, se deberá tener en cuenta el tamaño del alimento a suministrar, ya que el mismo, deberá ser consumido por los peces más grandes tanto como los más pequeños. Preferentemente, deben utilizarse peces que no tengan comportamiento caníbal, ya que los peces de mayor tamaño podrían preñar a los más chicos, dado lo cual es importante no emplear especies carnívoras.

Off-flavor (mal sabor): Los peces cultivados en sistemas acuapónicos suelen tener un sabor conocido en acuicultura como “off flavor” (en general “sabor a barro”). Este sabor en el pescado es generalmente asociado con el barro, lo que en realidad constituye la percepción del consumidor y no la realidad, ya que en un sistema acuapónico, no existe el barro. Este sabor en los peces es producido por una sustancia química denominada “geosmina”, que es generada en general, en los estanques excavados en tierra, por un alga Cianofita o alga verde-azul. En los sistemas acuapónicos, se presume que la sustancia tiene su origen en alguno de los grupos bacterianos que coexisten en el sistema.

La eliminación del off-flavor, es esencial para la comercialización y calidad de los peces destinados al consumo, ya que el gusto no es agradable, y de llegar a concentraciones muy elevadas, puede producir trastornos intestinales en los consumidores. El proceso de eliminación de esta sustancia, y por lo tanto la eliminación del off-flavor, es muy simple. El tratamiento consiste en dejar a los peces a cosechar en un sistema de recirculación o de agua corriente que no haya sido utilizada para acuicultura previamente.

El tiempo de permanencia de los peces en este proceso de purga, variará de 1 a 3 días dependiendo de la intensidad del off-flavor. Será necesario realizar un prueba degustativa, para conocer si los peces están completamente libres del mal sabor. La prueba más sencilla es tomar un filet del pescado del lote seleccionado y cocinarlo envuelto en un tapper o plato de cerámica, a potencia media, en microondas.

ANEXO I. Asociaciones benéficas de plantas en una huerta (Anónimo, 2005).

<i>Especie</i>	<i>Se asocia bien con:</i>
Albahaca	Tomate, mejora su sabor y aleja moscas y mosquitos.
Coles	Papa, apio, eneldo, manzanilla, salvia, tomillo, menta, poleo, romero, remolacha, cebolla; alejan los gusanos.
Pepino	Leguminosas, rábano, maíz, girasol. Los rabanitos repelen las moscas.
Rábano	Guisantes, capuchina, lechuga, pepino, ayuda en general a alejar insectos.
Romero	Zanahoria, col, salvia, lentejas, aleja insectos.
Tagetes	Distribuido sobre el suelo, lo mantiene sin nematodos.

ANEXO II. Recetas caseras para el control orgánico de plagas (Anónimo, 2005).

Alcohol de ajo: Amplio espectro. 6 dientes de ajo en la licuadora con medio litro de alcohol fino y medio litro de agua. Licuar, colar y embotellar. Utilizar frío.

Frutos de paraíso: Contra hormigas. Machacar y macerar durante 15 días los frutos, regar el suelo con esta solución disuelta en agua. Manejarlo con precaución ya que es muy tóxico.

Flor de lavanda: Repele insectos. Infusión con 300 gramos de flores secas por litro de agua. Rociar sobre las plantas.

Purín de ortigas: contra pulgones. Reposar 3 puñados de ortiga en un litro de agua por 3 a 4 semanas. Diluir una parte de purín y 10 de agua.

Infusión de ajo: pulgones y hormigas. Remojar dientes de ajo 24 horas, cocinar 20 minutos a fuego lento y regar varios días.

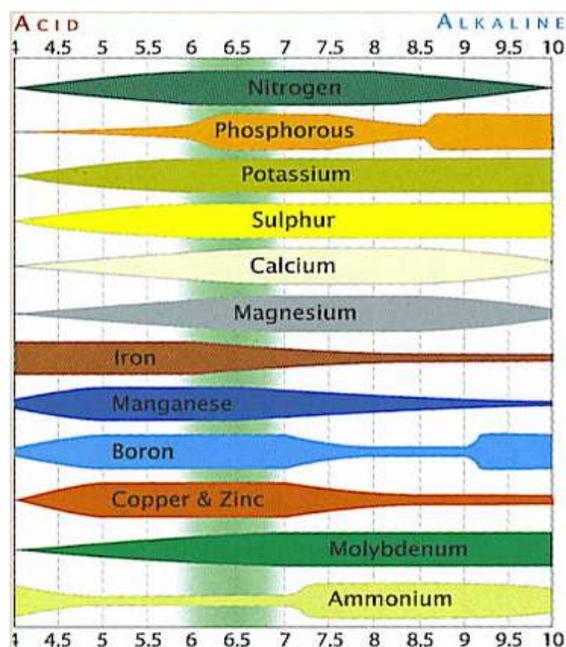
Infusión de cebolla: Hongos y pulgones. Separar la cáscara de dos o tres cebollas, agregar 1 litro de agua caliente y dejar reposar diez días.

Polvo para hornear: Pulgón, oídio y cochinilla. 1 cucharada de polvo para hornear en 1 litro de agua.

Infusión de tabaco: Contra pulgones, cochinilla y arañuela roja. Colocar colilla de cigarrillo sin filtro en 1 litro de agua. Al día siguiente agregar jabón blanco.

Purín de ruda: Combatir pulgones. Cortar 900 g. de tallos y hojas entre primavera y otoño, macerar en 10 litro de agua 10 días. Diluir el 20% en 10 litros de agua.

ANEXO III. Solubilidad de nutrientes según el pH del agua.



ANEXO IV. Síntomas de deficiencia de nutrientes en plantas.

<i>Elemento</i>	<i>Síntoma de deficiencia</i>
Nitrógeno	Color verde claro o amarillento en las hojas, especialmente en hojas viejas. Pobre desarrollo de frutos.
Fósforo	Desarrollo de color violáceo en las hojas. Pobre desarrollo de la planta.
Potasio	Las hojas más viejas desarrollan un color amarillento en los bordes de las hojas y luego mueren. Desarrollo irregular de frutos.
Calcio	Crecimiento reducido o muerte de nuevos gajos. Desarrollo pobre de frutos.
Magnesio	Aparición de color amarillento entre las nervaduras de las hojas y avance a hojas nuevas. Pobre desarrollo y producción de frutos.
Azufre	Aparición de color amarillento en las hojas nuevas y posterior avance a toda la planta. Síntomas similares a deficiencia de Nitrógeno pero apareciendo en brotes nuevos.
Manganeso	Manchas marrones en las hojas más viejas
Zinc	Color amarillento entre nervaduras en hojas jóvenes. Hojas de tamaño reducido
Boro	Muerte de gajos y deformación de hojas con áreas descoloridas
Hierro	Aparición de áreas amarillas o blancas entre nervaduras de hojas jóvenes, produciendo puntos muertos de tejido

Bibliografía

- Anónimo, 2005. La huerta orgánica. Revista Jardín 2^{da} edición. pp 71-74.
- Bernal Melo, I.; García Rico, E.; Soto Zarazúa, G., s/f. Sistema de producción mixta Hortícola-acuícola. Facultad de Ingeniería. Departamento de Posgrado. Universidad Autónoma de Querétaro. 4 pp.
- Diver, S., 2006. Aquaponics: Integration of Hydroponics with Aquaculture. ATTRA publications. National Sustainable Agriculture Information Service. 28 pp.
- Chapell, J. A.; Brown, T. W. & Purcell, T., 2008. A demonstration of tilapia and tomato culture utilizing an energy efficient integrated system approach. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture 2008. pp 23-32.
- Lewis, W. M.; Yopp, J. H.; Schramm, H. L.; Brandenburg, A. M., 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. Transactions of the American Fisheries Society. 107:92-99.
- Masser, M. P.; Rakocy, J. E. & Losordo, T. M., 1999. Recirculating aquaculture tank production systems: management of recirculating systems. Southern Regional Aquaculture Centre Publication N° 452. Southern Regional Aquaculture Centre, USA.
- McMurtry, M. R.; Sanders, D. C.; Cure, J. D.; Hodson, R. G.; Haning, B. C.; St. Amand, P. C., 1997. Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. J. World Aquaculture Soc. 28:420-428
- Rafiee, G. H.; & Saad, C. R., 2006. The Effect of Natural Zeolite (Clinoptiolite) on Aquaponic Production of Red Tilapia (*Oreochromis* sp.) and Lettuce (*Lactuca sativa* var. *longifolia*), and Improvement of Water Quality. Journal of Agriculture Science and Technology. 8: 313-322.
- Rakocy, J. E.; Bailey, D. S.; Shultz K. A. & Cole, W. M., 1997. Evaluation of a commercial scale aquaponic unit for the production of tilapia and lettuce. Pages 357-372 in: K. Fitzsimmons, ed. Tilapia Aquaculture: Proceedings of the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Orlando, Florida.
- Rakocy, J. E., 1999. The status of aquaponics Part 1. Aquaculture Magazine. Julio-Agosto. Pp 83 – 88. USA.
- Rakocy, J. E., 1999. The status of aquaponics Part 2. Aquaculture Magazine. Septiembre-octubre. Pp 64 – 70. USA.
- Rakocy, J. E.; Shultz, R. C.; Bailey, D. S. & 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. & Losordo, T. M., 2006. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. Southern Regional Aquaculture Centre Publication N° 454. Southern Regional Aquaculture Centre, USA.
- Losordo, T.; Masser, M. P. & Rakocy, J., 1998. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: An Overview of Critical Considerations. Southern Regional Aquaculture Centre Publication N° 451. Southern Regional Aquaculture Centre, USA.

Para consultas: Pablo Caló (pablo.calo@gmail.com)
 Pablo Candarle (pablo_candarle@hotmail.com)

