

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL**



“ACUAPONIA: PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO”

POR

JOSÉ ROBERTO BAÑUELOS JÁUREGUI

MONOGRAFÍA

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:**

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

ENERO DEL 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

“Acuaponía: Parámetros básicos de diseño”

POR:

JOSÉ ROBERTO BAÑUELOS JÁUREGUI

MONOGRAFÍA

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:


MVZ. ERIC ALEJANDRO REYES RAMÍREZ

ASESOR:


MC. JOSÉ LUIS COVARRUBIAS CASTRO

ASESOR:


M.V.Z. JESÚS ALFONSO AMAYA GONZÁLEZ




MC. RAMÓN ALFREDO DELGADO GONZÁLEZ, Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

TORREÓN, COAHUILA.

ENERO, 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

“Acuaponia: Parámetros básicos de diseño”

POR:

JOSÉ ROBERTO BAÑUELOS JÁUREGUI

MONOGRAFÍA

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

APROBADA POR:

PRESIDENTE:


MVZ. ERIC ALEJANDRO REYES RAMÍREZ

VOCAL:


MC. JOSÉ LUIS COVARRUBIAS CASTRO

VOCAL:


M.V.Z. JESÚS ALFONSO AMAYA GONZÁLEZ

VOCAL SUPLENTE


MC. JOSÉ LUIS FRANCISCO SANDOVAL ELÍAS


MC. RAMÓN ALFREDO DELGADO GONZÁLEZ

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL



TORREÓN, COAHUILA.

ENERO, 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la vida por permitirme experimentar las alegrías y tristezas de este mundo, a mi alma mater por no solo darme las herramientas necesarias para mi crecimiento profesional; sino también amigos entrañables y experiencias inolvidables.

A mis padres, agradezco los valores que me inculcaron y su filosofía de vida, a siempre impulsarme a ser mejor persona y ayudar a los demás.

A toda mi familia, por siempre darme buenos momentos y apoyarme en los momentos difíciles.

RESUMEN

La acuaponía es un sistema de producción integrado que vincula un sistema de recirculación acuícola (RAS) y un sistema de producción agrícola sin suelo (hidroponía); en este sistema se cultivan plantas y peces de manera integral; los desperdicios de los peces proveen una fuente de nutrientes para las plantas y éstas proveen un filtro natural al agua en la que viven los peces.

Sin embargo, la operación de los sistemas acuapónicos son mecánicamente sofisticados y biológicamente complejos por lo que se requiere de educación, experiencia y dedicación. Los posibles operadores de los sistemas acuapónicos necesitan conocer los procesos de tratamiento de agua requeridos, el componente de cada proceso y la tecnología detrás de cada componente.

Es en este contexto en el que se desarrolla este trabajo, en el que se describe la aplicabilidad del sistema en diferentes situaciones; También, se explica el ciclo natural (Ciclo del nitrógeno) en el cual se basa el funcionamiento de un sistema acuapónico; Así, como los parámetros físico-químicos del agua necesarios para mantener un sistema acuapónico saludable; Por último, se describen los componentes básicos que conforman el sistema acuapónico y las consideraciones primordiales para el diseño y dimensionamiento de cualquier sistema de producción acuapónico.

La acuaponía se presenta como una alternativa a los sistemas de producción convencionales, gracias a su capacidad de producir dos productos comerciales como lo son el pescado y las hortalizas usando la misma infraestructura; Además, de la posibilidad de hacerlo en zonas desérticas, urbanas y periurbanas sin necesidad de suelo arable; y por consiguiente cerca de las áreas de consumo.

Palabras clave: Acuaponía, RAS, hidroponía, ciclo del nitrógeno, componentes, diseño.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos.....	i
Resumen.....	ii
Índice de contenido.....	iii
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	3
III. Definición.....	7
3.1 Comparación con Otros Sistemas de Producción.....	9
3.2 Ventajas y Desventajas.....	11
IV. Ciclo del Nitrógeno.....	13
4.1 Nitrificación.....	16
4.2 Mineralización.....	17
V. Calidad del Agua.....	19
5.1 Oxígeno.....	20
5.2 pH.....	22
5.2.1 Importancia del pH.....	23
5.2.2 El Proceso de Nitrificación.....	24
5.2.3 Densidad de Población de Peces.....	25
5.2.4 Fitoplancton.....	25
5.3 Temperatura.....	25
5.4 Nitrógeno Total: Amoníaco, Nitrito, Nitrato.....	27
5.4.1 Impactos del Alto Contenido de Amoníaco.....	27
5.4.2 Impactos de los Altos Niveles de Nitrito.....	28
5.4.3 Impactos de los Altos Niveles de Nitrato.....	29
5.5 Dureza del Agua.....	29
5.5.1 Dureza General.....	30
5.5.2 Dureza o Alcalinidad del Carbonato.....	30
5.5.3 Resumen de Puntos Esenciales sobre Dureza.....	32
VI. Consideraciones para el Diseño de un Sistema Acuapónico.....	33
6.1 Selección del Sitio.....	33

6.1.1	Estabilidad	34
6.1.2	Exposición al Viento, Lluvia y Nieve	34
6.1.3	Exposición a la Luz Solar y a la Sombra	35
6.1.4	Utilidades, Cercas y Facilidad de Acceso	36
6.2	Componente Biológico	37
6.2.1	Plantas.....	37
6.2.2	Peces.....	38
6.3	Componente Acuícola	39
6.3.1	Tanque de Peces.....	39
6.3.2	Filtros Mecánicos.....	41
6.3.3	Filtros Biológicos.....	46
6.4	Componente Hidropónico.....	49
6.4.1	Sistema Con Sustrato.....	49
6.4.2	Inundación Y Drenaje (Ebb And Flow).....	51
6.4.3	Técnica Película De Nutrientes (NFT)	52
6.4.4	Sistema De Raíz Flotante	54
6.5	Bombeo.....	56
6.6	Aireación	57
VII.	Cálculos y Relaciones de Componentes	58
7.1	Área de Cultivo de la Planta, Cantidad de Alimento para Peces y Cantidad de Peces	59
7.3	Volumen de agua	61
7.4	Requisitos de filtración - biofiltro y separador mecánico	62
VIII.	Conclusiones	63
IX.	Bibliografía.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tolerancias generales de la calidad del agua para peces (agua cálida o fría), plantas hidropónicas y bacterias nitrificantes (Carruthers, 2015).....	19
Tabla 2 Parámetros del agua ideales para la acuaponía (Carruthers, 2015)	20
Tabla 3 Clasificación de la dureza del agua.	32
Tabla 4 Proporción Alimento:Area de cultivo (Carruthers, 2015)	59
Tabla 5 Relación Área:Número de plantas (Carruthers, 2015).....	60
Tabla 6 Tasa alimentacion de peces (Carruthers, 2015).....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Representación del ciclo del nitrógeno en un sistema acuapónico(Goodman, 2011).....	15
Figura 2 Rango de Tolerancia de Oxígeno disuelto (Carruthers, 2015)	21
Figura 3 Solubilidad del oxígeno en relación a la temperatura (Carruthers, 2015)	22
Figura 4 Representación visual de la escala del pH.....	23
Figura 5 Diagrama de un tanque de sedimentación (Lennard, 2012b)	44
Figura 6 Diagrama de un sistema acuapónico de sustrato (Carruthers, 2015)	50
Figura 7 Sistema acuapónico con sistema Ebb &Glow (Caló, 2011)	51
Figura 8 Diagrama de un sistema acuapónico NFT (Carruthers, 2015).....	53
Figura 9 Sistema semi-comercial de raíz flotante en la UVI (Carruthers, 2015)....	54
Figura 10 Diagrama de un sistema acuapónico DWC (Carruthers, 2015)	55

I. Introducción

En la actualidad, el desarrollo de los sistemas productivos a desencadenado un deterioro ambiental palpable; De esta manera es necesario incorporar una visión de producción ecosistémica donde se internalicen los impactos ambientales, estimulando un mayor control que minimice, por tanto, sus efectos. Ello debe incentivar la incorporación de tecnologías limpias, disminuyendo los costos productivos por concepto de la incorporación del “factor ambiental” a la ecuación de desarrollo. De esta forma es posible reducir incluso los costos ambientales al mejorar en forma real la tecnología y las estrategias productivas. Debemos comprender que solo si los aspectos ambientales se internalizan en el modelo de desarrollo económico y se contemplan en el diseño de producción, se podrá empezar a pensar que es posible alcanzar un desarrollo sostenible o algo que se acerque a este concepto.

El desafío de la acuicultura en México está en obtener los beneficios económicos y sociales sin la degradación del ambiente, siendo necesarios estudios científicos que permitan demostrar, que ésta es una alternativa de producción con grandes posibilidades de serla en forma sostenible.

La acuaponía es un sistema de producción integrado que vincula un sistema de recirculación acuícola (RAS) y un sistema de producción agrícola sin suelo (hidroponía); en este sistema se cultivan plantas y peces de manera integral; los desperdicios de los peces proveen una fuente de nutrientes para las plantas y éstas proveen un filtro natural al agua en la que viven los peces.

Por lo que, dentro de un sistema de producción acuapónico se obtienen productos con valor comercial, se recuperan los nutrientes y además se impide la contaminación del agua.

Sin embargo, la operación de los sistemas acuapónicos son mecánicamente sofisticados y biológicamente complejos por lo que se requiere de educación, experiencia y dedicación (Duning, 2012). Los posibles operadores de los sistemas

acuapónicos necesitan conocer los procesos de tratamiento de agua requeridos, el componente de cada proceso y la tecnología detrás de cada componente.

Muchos de estos sistemas han fracasado debido a la falla de los componentes por un diseño deficiente y un manejo inadecuado (Masser, Rakocy, & Losordo, 1999). Un buen conocimiento del diseño del sistema, la especificación de los componentes técnicos y el funcionamiento del sistema es, por lo tanto, un requisito previo para una explotación acuapónica sostenible (Bijo, Thorarensen, Johannsson, & Jensson, 2007).

Es en este contexto en el que se desarrolla este trabajo, en el que se describe la aplicabilidad del sistema en diferentes situaciones; También, se explica el ciclo natural (Ciclo del nitrógeno) en el cual se basa el funcionamiento de un sistema acuapónico; Así, como los parámetros físico-químicos del agua necesarios para mantener un sistema acuapónico saludable; Por último, se describen los componentes básicos que conforman el sistema acuapónico y las consideraciones primordiales para el diseño y dimensionamiento de cualquier sistema de producción acuapónico.

II. Antecedentes

El uso de sistemas acuapónicos no es nuevo. Jones (2002) menciona el uso de sistemas integrados en la antigua China hace más de 1,500 años en donde su rendimiento era pobre. También alude a los Incas de Perú, quienes cavaban estanques de forma ovalada cerca de las viviendas en la montaña dejando una pequeña isla en medio. Cuando los estanques se llenaban de agua entonces agregaban peces. Posteriormente los gansos se alimentaban de éstos y se posaban en la isla, donde sus desechos fertilizaban la tierra y aumentaban la disponibilidad de nutrientes.

Los Aztecas, en México, igualmente practicaban una técnica primaria del sistema criando peces junto con cultivos en las llamadas chinampas. Éstos se construían en islas artificiales en pantanos o en lagos poco profundos, sobre los cuales sembraban maíz (*Zea mays L.*) y calabacita (*Cucurbita pepo L.*), entre otros. Los canales que rodeaban las islas artificiales eran empleados para criar peces y eran navegados en canoas llamados acallis. Los desperdicios de los peces caían en el fondo de los canales y eran recolectados para fertilizar las plantas (Boutwell, 2007; Zuckerman & M. Bess Dicklow, 1989).

Pero no fue sino a partir de los años 70's en que se comenzó a tener registro de investigaciones y experimentos en materia de acuaponía. Como el llevado a cabo por McLarney (1972) quien llevó a cabo un experimento en donde llevaba el control de riego de distintas especies de plantas, unas las regaba con agua corriente y otras con agua de un estanque de peces. Los resultados fueron determinantes: las plantas regadas con agua de la llave tuvieron un menor crecimiento comparada con aquellas que fueron regadas con agua del estanque de peces.

Sin embargo, el primer registro de cultivo de peces y plantas en un sistema cerrado de recirculación fue llevado a cabo por Lewis, Yopp, Schramm, and Brandenburg (1978) en donde desarrollaron uno de los primeros sistemas de recirculación acuícola integrando producción de peces, biofiltración e hidroponía. En el experimento se incorporaron el cultivo de bagre (*Ictalurus punctatus L.*) con

tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) los resultados recolectados fueron contundentes. En cuanto a los peces, el nivel de supervivencia fue alto pero por el contrario su crecimiento fue por debajo del máximo debido a la baja temperatura del agua del estanque. La calidad de agua se mantuvo en excelentes condiciones. El biofiltro funcionó de manera apropiada convirtiendo los desechos en Nitrato-N y Fosfato-P. El sistema hidropónico removió éstos residuales del agua y la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) fue aproximadamente dos veces mayor al esperado de la producción en campo, así mismo la calidad del fruto fue mayor en el sistema acuapónico contra aquel cosechado en condiciones de campo. Esa misma década se efectúan otros tantos trabajos referentes a la acuaponía, como el de Sneed (1975), en el cual se combina el cultivo de peces y la hidroponía, el de Naegel (1977), quién habla de la combinación de la producción de peces y plantas recirculando el agua; y el de Wolfe and Zweig (1977), quiénes hacen una recopilación de las técnicas de cultivo de peces, incluyendo la acuaponía como otro de tantos métodos.

En los años 80's destaca Rakocy con sus diversas investigaciones, como la determinación de problemas que se pueden encontrar en un sistema acuapónico (Rakocy & Nair, 1987), la influencia del sistema hidropónico en la calidad del agua (Rakocy, Hargreaves, & Bailey, 1989), el estudio del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en un sistema acuapónico (Rakocy, 1989), entre otros. También podemos encontrar otras investigaciones en donde se estudia el sistema acuapónico bajo condiciones de invernadero (Bender, 1984); (Burgoon, 1984); (Sanders, 1988); (Rennert, 1989).

Conforme se avanza en el tiempo se puede observar mayor especificación en los temas de investigación referentes a la acuaponía. Para los años 90's se llevan a cabo estudios acerca de la dinámica de los nutrientes en el agua como (Clarkson, 1991), (McMurty, 1993), (Rakocy, Hargreaves, & Bailey, 1993), entre otros. Así como la relación que puede haber entre el sistema acuapónico y el tratamiento de aguas residuales (Costa-Pierce, 1998); (Guterstam, 1996).

Comenzando en el siglo XXI, se puede apreciar el interés que se presenta a los sistemas de recirculación acuícola (RAS) para integrarlos al sistema acuapónico como lo hacen Harmon (2005), Sfetcu, Cristea, and Oprea (2008) y Graber (2009). Hay muchas más investigaciones en cuanto a este sistema, muchas de las cuales pueden ser encontradas en la revisión de Diver (2006b).

No obstante, a pesar de las numerosas investigaciones y experimentos que existen, la mayoría están enfocados a la ingeniería acuícola, los sistemas experimentales y a la producción comercial. Algunas excepciones son los trabajos de Wardlow (2002) donde hablan de mejorar el interés del estudiante en ciencias agrícolas a través de la acuaponía; así mismo el de Pade (2007) quienes hablan de un sistema acuapónico para comunidades; y de igual manera el de Connolly (2010), quienes optimizaron un sistema acuapónico para su uso en traspatio.

Los sistemas de producción acuapónicos aún se encuentra en vías de crecimiento, divulgación y experimentación, sin embargo, cada vez son más los países que se suman a la implementación de este sistema debido a los problemas de escasez y limitación del agua así como las regulaciones por la disposición de la misma cuando se encuentra cargada de desechos. Entre los países de los cuales se tiene conocimiento en el desarrollo de esta actividad se encuentran: Australia, Canadá, Estados Unidos, Holanda, Korea, y México. La tecnología se ha venido mejorando y adaptando a las distintas condiciones de cada uno de ellos, las cuales pueden ser: condiciones climáticas, especies de cultivo, regulaciones, costos de producción, entre otras (Gómez M., Ortega L., & Trejo T., 2015).

En México la acuacultura ha adquirido mayor importancia en los últimos años, arrojando beneficios sociales y económicos los cuales a su vez se han traducido en una fuente de alimentación con un elevado valor nutricional. Sin embargo, el 80% de los cultivos que se llevan a cabo son de tipo extensivo de rendimiento bajo (Alvarez Torres, 1999).

A partir de la década de los treinta, los esfuerzos institucionales para el desarrollo de la acuicultura en México, se orientaron al impulso de la acuicultura rural y al repoblamiento de los embalses, en particular de las grandes presas. Sin embargo, el resultado de estas actividades de repoblamiento en la actualidad no está plenamente identificado. Posteriormente, durante la década de los ochenta, las políticas gubernamentales se dirigieron a la acuicultura industrial y de alto rendimiento (Alvarez Torres, 1999).

En México no se tiene registro aun de un sistema de recirculación acuícola (RAS) o acuapónico a nivel comercial, pero se han llevado a cabo en la última década algunas investigaciones sobre sistemas acuapónicos en el país, en los que destacan:

Range and Range (2005) desarrollando un sistema en Reynosa, Tamaulipas, en un orfanato, con tilapias (*Oreochromis mossambicus*) y plátanos (*Musa paradisiaca*), utilizaron lentejas de agua (*Lemna minor*) como alimento para las tilapias, y así disminuyeron los costos.

Ramos (2006) en la Universidad de Guadalajara, México, estableció un programa acuapónico piloto con tanques para peces y tanques para el cultivo del acocil rojo (*Cherax quadricarinatus*).

Quevedo (2008) evaluó en Mazatlán, Sinaloa, el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) en forma de cultivo hidropónico para la remoción de nutrientes en un sistema cerrado midiendo el crecimiento de poecílicos, con lo que demostró la gran capacidad que tiene esta planta para reducir nutrientes del agua.

Sánchez (2008) en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), desarrolló un sistema acuapónico utilizando *O. niloticus* y *Fragaria ananassa* y encontraron que los efluentes producidos por el cultivo de *O. niloticus* mediante el uso de una dieta comercial, no satisfacen las necesidades nutrimentales del cultivo *F. ananassa*.

Ramirez Ballesteros (2013) Evaluó el crecimiento de Tilapia, Acocil y Lechuga en un sistema de recirculación acuapónico en condiciones de laboratorio.

III. Definición

Los sistemas de producción acuapónicos combinan dos formas de producción, un sistema de recirculación acuícola y un sistema hidropónico (Bakiu & Shehu, 2014). La acuaponía ofrece una solución a los principales problemas que enfrentan estos dos sistemas; La necesidad de formas sostenibles de filtrar o eliminar los desechos de los pescado ricos en nutrientes en el caso de la acuicultura y la necesidad de que el agua rica en nutrientes actúe como un fertilizante con todos los nutrientes y minerales necesarios para el crecimiento de las plantas cultivadas a través de la hidroponía (Nelson & Pade, 2008). Por lo tanto, los sistemas acuapónicos trabajan sobre dos puntos de gran interés en producción, rentabilidad y tratamiento de desechos (Rakocy, 1999).

Los sistemas de recirculación son diseñados para criar grandes cantidades de pescado en relativamente bajos volúmenes de agua proporcionando un tratamiento a esta agua para remover los desechos tóxicos para el pez y después reutilizarla (Rakocy, Masser, & Losordo, 2006).

En el proceso de reutilizar el agua varias veces, se acumulan nutrientes no tóxicos y materia orgánica. Estos sub-productos metabólicos no necesitan ser desperdiciados si son canalizados hacia cultivos secundarios con un valor económico o si en alguna forma beneficia el sistema primario de producción acuícola (Rakocy et al., 2006).

Los sistemas que producen cultivos secundarios utilizando los subproductos de la producción de cultivos primarios (en este caso peces) son considerados como sistemas integrados. Si estos cultivos secundarios son plantas acuáticas o terrestres cultivadas en conjunto con los peces, este sistema integrado es conocido como un sistema acuapónico(Rakocy et al., 2006).

Las plantas crecen rápidamente con los nutrientes disueltos que son excretados directamente por los peces o generados por la descomposición microbiana de los desechos de estos peces. En sistemas de recirculación cerrados con muy poco recambio diario de agua (menos del 2 por ciento), los nutrientes

disueltos se acumulan en concentraciones similares a aquellas utilizadas en soluciones nutritivas hidropónicas. El nitrógeno disuelto, en particular, puede ocurrir en altos niveles dentro de los sistemas de recirculación. Los peces excretan desechos de nitrógeno, en la forma de amoníaco, directamente dentro del agua a través de sus agallas. Las bacterias se encargan de convertir amoníaco en nitrito y después a nitrato. En el caso de la amoníaco y nitrito son tóxicos para los peces, incluso en pequeñas concentraciones, Pero el nitrato es relativamente inofensivo, aun en mayores concentraciones, y además es la forma preferida de nitrógeno para producir plantas de mayor tamaño, como vegetales de fruto (Rakocy et al., 2006).

En sistemas de traspatio, la acuaponía permite el crecimiento de una comida completa (proteína de pescado y fibra, nutrientes y minerales de la producción de hortalizas, frutas o hierbas) en un sistema cerrado, donde se cultiva dos tipos de cultivos (peces y plantas) utilizando sólo un cuerpo de agua y una sola infraestructura(Connolly, 2010). Los cultivos se producen de manera intensiva sin comprometer la salud del sistema y al tiempo que reducen considerablemente el aporte requerido de recursos hídricos y aumentan el valor obtenido del agua continuamente limpiada y reciclada (Mary-Lou, 2007).

Cuando el sistema se encuentra en equilibrio, se puede obtener una alta producción de peces y plantas a altas densidades de almacenamiento sin el uso de fertilizantes químicos, herbicidas o pesticidas (Nelson & Pade, 2008). Un pequeño sistema acuapónico en el patio trasero de una familia podría contribuir en gran medida a proporcionar diariamente comida excepcionalmente fresca y promover la producción local de alimentos, así como a apoyar la economía local(Diver, 2006b). Este tipo de agricultura de traspatio permite la producción de varios cultivos de plantas en un pequeño espacio que se puede utilizar en la cocina del hogar o se pueden vender en el mercado local (Connolly, 2010).

Los sistemas acuapónicos pueden proporcionar alimentos todo el año (incluso durante la estación seca) en regiones áridas donde los recursos de agua y suelo pueden ser escasos y pueden actuar como la clave para el autoabastecimiento de las comunidades que viven en las regiones en desarrollo del

mundo (Hughey, 2005). Al no necesitar del suelo estos sistemas esto permite que puedan ser usados regiones urbanas o en lugares con una baja calidad de suelo (Nelson & Pade, 2008).

3.1 Comparación con Otros Sistemas de Producción

La producción de alimentos acuapónicos es muy versátil ya que se puede utilizar a escala comercial o al nivel de traspatio. Combina muchas de las ventajas de otros métodos de producción de alimentos (como la acuicultura y la hidroponía) con ventajas adicionales únicas para la acuaponía (Connolly, 2010).

En comparación con la hidroponía, la acuaponía al igual que la hidroponía no requiere suelo para el abundante crecimiento durante todo el año de los alimentos y proporciona los elementos minerales y nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, así como el apoyo estructural que tradicionalmente se proporciona por el suelo. Ambos sistemas también permiten altas densidades de cultivo y la conservación del agua. No se pierde agua en estos sistemas al suelo fuera de las zonas de raíces o a las malas hierbas que encuentran en los sistemas tradicionales de producción en suelo. Además, el riesgo de enfermedades transmitidas por el suelo no está presente (Nelson & Pade, 2008).

Las grandes cantidades de tiempo y recursos que los cultivadores hidropónicos pasan mezclando la solución de fertilizante perfecta de los compuestos manufacturados o minados con el fin de satisfacer todas las necesidades nutricionales de las plantas se reducen de manera simple y significativa en acuaponía (Nelson & Pade, 2008). La acuaponía no requiere la adición de fertilizantes químicos sintéticos ya que las excreciones del pescado en tanque de cría proporcionan cantidades adecuadas de amoníaco esencial, nitrato, nitrito, fósforo, potasio y micronutrientes, así como algunos nutrientes secundarios para el crecimiento saludable de las plantas hidropónicas (Diver, 2006b). El uso de herbicidas sintéticos y pesticidas también es innecesario y comprometería en gran medida la salud de los peces que son altamente sensibles a la calidad del agua. La

acuaponía es por lo tanto esencialmente una forma orgánica de la hidroponía (Nelson & Pade, 2008) cuya única entrada de fertilizante es la alimentación de peces que contiene aproximadamente 32% de proteína. La acuaponía también proporciona un cultivo totalmente separado, además de los cultivos de plantas - el pescado (Spade, 2009).

En comparación con la acuicultura, un sistema acuapónico puede albergar peces con una alta densidad de población, siempre que el agua se filtre regularmente y se efectúe regularmente aireación junto con el monitoreo de todos los parámetros de calidad del agua relevantes para la salud del pez. Ambos sistemas pueden ser alojados en casi cualquier lugar debido a la pequeña cantidad de espacio que requieren y por lo tanto puede proporcionar pescado fresco a una comunidad de manera regular (Connolly, 2010).

Los sistemas de recirculación acuícola, sin embargo, han sido criticados por su alta tasa de fracaso, ya que la alta densidad de peces deja poco margen para el error en términos de calidad del agua y por lo tanto en la salud de los peces. El agua en estos sistemas debe ser filtrada mecánica o biológicamente con extremo cuidado y todos los parámetros deben mantenerse cuidadosamente. En la acuicultura también se produce un gran flujo de excretas de pescado y es necesario eliminarlos de alguna manera. Además, se necesitan entradas adicionales de agua para asegurar la calidad del agua. Un sistema acuapónico proporciona la eliminación de sólidos y la biofiltración del efluente de residuos de peces, así como una limpieza adicional mediante la asimilación de nutrientes en la biomasa vegetal. Se elimina así la corriente de residuos de la acuicultura y se obtiene otro tipo de cultivo (plantas) (Nelson & Pade, 2008). En términos de eficiencia de los recursos, los sistemas acuapónicos usan solo el 1% de recambio del agua requerida en la acuicultura tradicional para obtener el mismo rendimiento de tilapia (*Oreochromis spp*) - una especie comúnmente usada en recirculación de sistemas acuapónicos (Diver, 2006a).

3.2 Ventajas y Desventajas

Los sistemas acuapónicos trabajan sobre dos puntos de gran interés en producción, rentabilidad y tratamiento de desechos (Rakocy, 1999)

La acuaponía es un sistema más apropiado de producción de alimentos cuando el precio de la tierra es elevado, el agua es escasa y se tienen suelos pobres. Los desiertos, las zonas áridas y los jardines urbanos son los lugares más apropiados para la acuaponía, debido a que este sistema utiliza un mínimo de agua. (Carruthers, 2015)

De manera similar, la acuaponía se puede utilizar en entornos urbanos y periurbanos donde no hay o muy poca tierra disponible, proporcionando un medio para cultivar densos cultivos en pequeños balcones, patios, interiores o en los tejados (Carruthers, 2015).

Sin embargo, esta técnica puede ser complicada y las unidades de pequeña escala nunca proporcionarán toda la comida para una familia. Los sistemas acuapónicos son costosos; El propietario debe instalar un sistema completo de acuicultura y un sistema hidropónico, y este es el elemento más importante a considerar cuando se inicia un sistema acuapónico. Además, la gestión exitosa requiere un conocimiento holístico y un mantenimiento diario de los tres grupos separados de organismos involucrados. La calidad del agua debe ser medida y manipulada (Carruthers, 2015).

Las habilidades técnicas son necesarias para construir e instalar los sistemas, especialmente en el caso de la plomería y el cableado. La acuaponía puede ser poco práctica e innecesaria en lugares con acceso a la tierra, suelo fértil, espacio adecuado y agua disponible.

Las comunidades agrícolas fuertes pueden encontrar que la acuaponía es excesivamente complicada cuando se puede cultivar la misma comida directamente en el suelo. En estos casos, la acuaponía puede convertirse en un pasatiempo caro en lugar de un sistema dedicado de producción de alimentos.

Además, la acuaponía requiere un acceso consistente a algunos insumos. La electricidad es necesaria para todos los sistemas acuapónicos, y las redes de electricidad no confiables y / o un alto costo de la electricidad pueden hacer que la acuaponía sea inviable en algunos lugares. Los piensos para peces deben adquirirse regularmente, y es necesario tener acceso a semillas de pescado y semillas de plantas (Carruthers, 2015).

Estos insumos pueden reducirse (paneles solares, producción de piensos, cría de peces y propagación de plantas), pero estas tareas requieren conocimientos adicionales y agregan tiempo a la gestión diaria, y pueden ser demasiado onerosos y tomar mucho tiempo para un sistema a pequeña escala (Carruthers, 2015).

IV. Ciclo del Nitrógeno

El proceso biológico más importante en los sistemas de producción acuapónicos es el proceso de nitrificación, que es un componente esencial del ciclo global de nitrógeno que se da en la naturaleza. El nitrógeno (N) es un elemento químico y un elemento esencial para todas las formas de vida. Está presente en todos los aminoácidos, que constituyen todas las proteínas que son esenciales para muchos procesos biológicos claves para los animales tales como la regulación de la enzima, la señalización celular y la construcción de estructuras. El nitrógeno es el nutriente inorgánico más importante para todas las plantas. El nitrógeno, en forma de gas, en realidad es el elemento más abundante presente en la atmósfera de la Tierra que constituye aproximadamente el 78 por ciento de la misma, con el oxígeno sólo de hacer un aumento del 21 por ciento. Sin embargo, a pesar de ser tan abundante de nitrógeno, que sólo está presente en la atmósfera en forma de nitrógeno molecular (N_2), que es un triple enlace muy estable de átomos de nitrógeno y es inaccesible a las plantas. Por lo tanto, el nitrógeno en su forma N_2 tiene que ser cambiado antes que las plantas lo puedan utilizar para el crecimiento. Este proceso se llama fijación de nitrógeno. (Carruthers, 2015)

La fijación de nitrógeno se ve facilitada por las bacterias que alteran químicamente el nitrógeno molecular (N_2) mediante la adición de otros elementos tales como hidrógeno u oxígeno, creando de este modo nuevos compuestos químicos tales como el amoníaco (NH_3) y nitrato (NO_3^-) que las plantas pueden utilizar fácilmente. (Carruthers, 2015)

Los animales produce desechos (heces y orina) que está compuesto en gran parte de amoníaco (NH_3). Otra materia orgánica en descomposición que se encuentra en la naturaleza, tales como plantas o animales muertos, se descompone por hongos y bacterias en diferentes grupos de amoníaco. (Carruthers, 2015)

Este amoníaco se metaboliza por un grupo específico de bacterias, que son muy importantes para los sistemas acuapónicos, llamado bacterias nitrificantes.

Estas bacterias convierten en primer lugar el amoníaco en nitrito (NO_2) y por último, en compuestos de nitrato (NO_3). Las plantas son capaces de utilizar tanto el amoníaco y nitritos para llevar a cabo sus procesos de crecimiento, pero los nitratos son más fácilmente asimilados por sus raíces. (Carruthers, 2015)

Este proceso natural de nitrificación por bacterias que ocurren en el suelo también se lleva a cabo en el agua de la misma manera. Para los sistemas acuapónicos, los desechos animales son los excrementos de peces liberados en los tanques de cultivo. (Carruthers, 2015)

Las mismas bacterias nitrificantes que viven en la tierra también se establecerán de forma natural en el agua o en cualquier superficie húmeda, realizando la conversión de amoníaco a partir de los desechos de pescado en el nitrato fácilmente asimilable por las plantas para su uso. La nitrificación en los sistemas acuapónicos proporciona nutrientes para las plantas y elimina el amoníaco y nitritos que son tóxicos para los peces (Figura 1). (Carruthers, 2015).

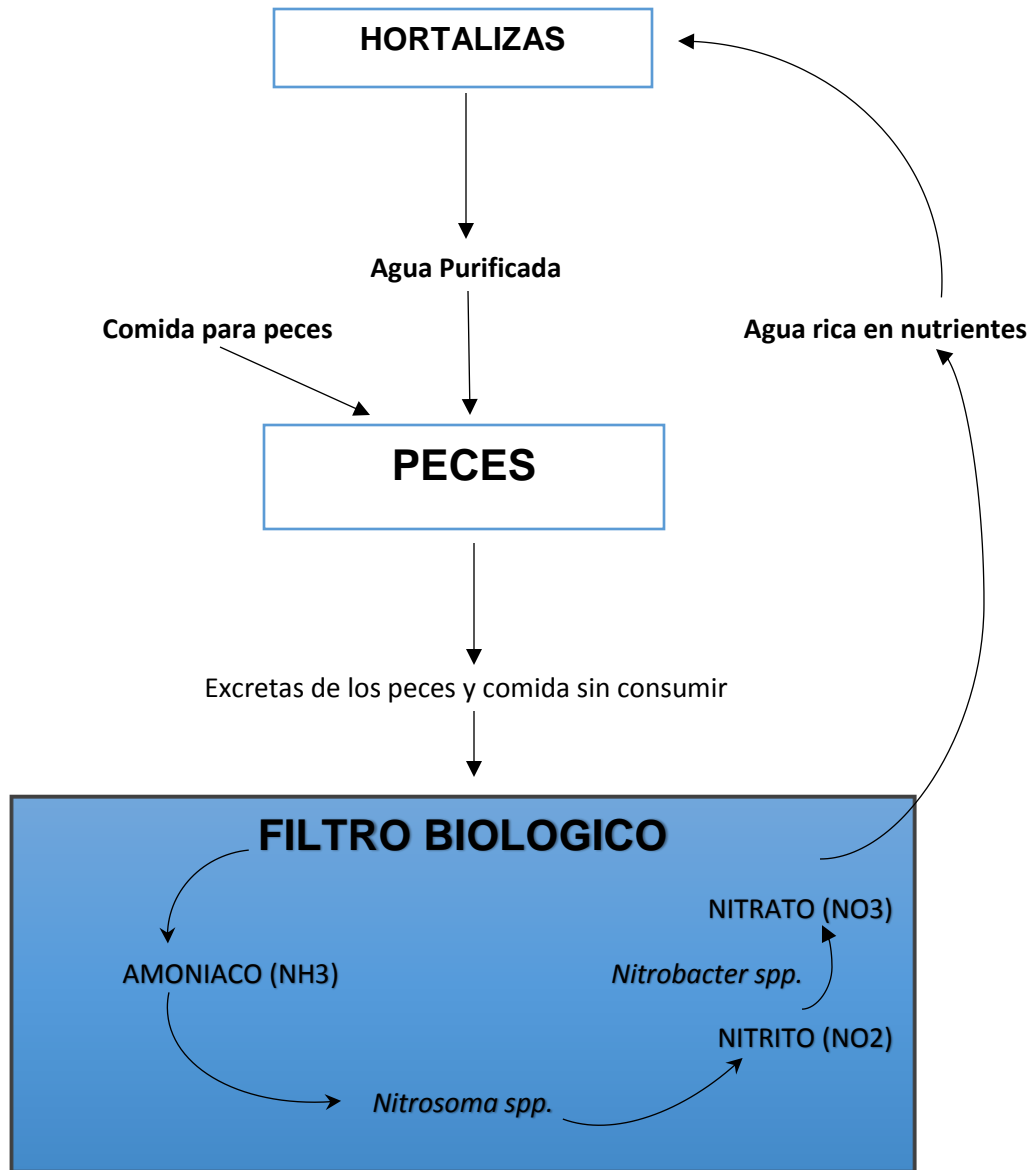


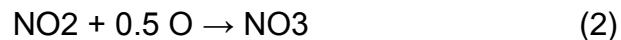
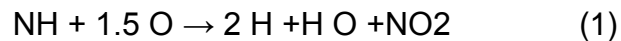
Figura 1 Representación del ciclo del nitrógeno en un sistema acuapónico (Goodman, 2011)

4.1 Nitrificación

La nitrificación es la oxidación del amonio a nitrato a través del nitrito. La nitrificación se lleva a cabo por unas pocas especies de bacterias autótrofas; bacterias que derivan su energía de estas oxidaciones y no de la oxidación de compuestos de carbono. La importancia de la nitrificación es que produce una forma oxidada de nitrógeno (es decir, nitrato) que pueden participar en reacciones de desnitrificación. Cuando la desnitrificación es completa, el resultado es la pérdida de nitrógeno fácilmente disponible a partir del agua (Hochheimer & Wheaton, 1998).

La nitrificación en sistemas de producción acuapónicos se produce normalmente por la acción de dos géneros de bacterias autótrofas: *Nitrosomonas spp.* y *Nitrobacter spp.* Estas son bacterias autótrofas que obtienen su energía a partir de compuestos inorgánicos (mineralización), en oposición a las bacterias heterótrofas que se derivan de energía a partir de compuestos orgánicos (Hochheimer & Wheaton, 1998).

Las ecuaciones 1 y 2 muestran la reacción química de esta conversión:



Las reacciones mostradas en las Ecuaciones 1 y 2 de energía de liberación que es utilizado por *Nitrosomonas spp.* y *Nitrobacter spp.* para el crecimiento celular y mantenimiento. El oxígeno sirve como un aceptor de electrones y es el único aceptor de electrones que puede ser utilizado por estas bacterias (Hochheimer & Wheaton, 1998).

El crecimiento de bacterias nitrificantes es muy lenta y el rendimiento de células por unidad de energía es bajo. La mayor parte de la energía producida en la oxidación de amoníaco y nitrito es utilizada por las bacterias nitrificantes para producir nuevas células bacterianas. Los autótrofos son relativamente ineficientes, en comparación con los heterótrofos, en el uso de energía para formar un material celular. Ecológicamente, la baja eficiencia energética produce una pequeña

producción de biomasa capaz de oxidar una gran cantidad de amoníaco. Las bacterias nitrificantes utilizan una gran cantidad de energía para producir una pequeña cantidad de masa celular (Hochheimer & Wheaton, 1998).

La capacidad de nitrificación biológica para controlar adecuadamente el amoníaco y nitrito en sistemas acuapónicos depende de una variedad de factores que limitan el crecimiento de la bacteria nitrificante (Hochheimer & Wheaton, 1998).

4.2 Mineralización

La mineralización, en términos de acuaponía, se refiere a la forma en que los residuos sólidos se procesan y son metabolizados por las bacterias en nutrientes para las plantas. Los residuos sólidos que se encuentran atrapados por el filtro mecánico contienen nutrientes; a pesar del tratamiento de estos residuos es diferente a la biofiltración y requiere una consideración aparte. La retención de los sólidos dentro del sistema general permitirá añadir más nutrientes a las plantas. Todo residuo que queda en los filtros mecánicos, dentro de los biofiltros o en las camas hidropónicas es sometido a alguna clase de mineralización. Dejar los desechos en su lugar por más tiempo permite una mayor mineralización; Un mayor tiempo de residencia de los residuos en el filtro, puede conducir a una mayor mineralización y más nutrientes siendo retenido en el sistema (Carruthers, 2015).

Sin embargo, estos mismos desechos sólidos, si no se manejan adecuadamente y son mineralizados, bloquearán el flujo de agua, consumiendo oxígeno y llevando a condiciones anóxicas, que a su vez conducen a la producción de gas de sulfuro de hidrógeno peligroso y la desnitrificación.

Por ello, algunos sistemas grandes dejan deliberadamente los residuos sólidos dentro de los filtros, asegurando el flujo de agua y oxigenación adecuadas, de manera que se libera un máximo de los nutrientes. Sin embargo, este método no es práctico para los sistemas de NFT y DWC de pequeña escala. Si se decide deliberadamente mineralizar estos sólidos, hay maneras sencillas para facilitar la

descomposición bacteriana en un recipiente aparte, simplemente almacenando estos residuos en este recipiente separado con una adecuada oxigenación usando piedras de aire. Después de un período indefinido de tiempo, se habrá consumido los residuos sólidos, metabolizado y transformada por bacterias heterótrofas. En este punto, el agua se puede decantar y volver a añadir al sistema hidropónico, y los residuos restantes, que ha disminuido en volumen, se pueden añadir al suelo. (Carruthers, 2015)

V. Calidad del Agua

El agua es la sangre vital de un sistema acuapónico. Es el medio a través del cual todos los macronutrientes y micronutrientes esenciales son transportados a las plantas, y el medio a través del cual los peces reciben oxígeno. Por lo tanto, es uno de los temas más importantes a entender. A continuación, se discuten cinco parámetros clave de la calidad del agua en un sistema acuapónico: oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura, nitrógeno total y alcalinidad del agua. Cada parámetro tiene un impacto en los tres organismos de la unidad (peces, plantas y bacterias), y la comprensión de los efectos de cada parámetro es crucial para la operación de un sistema acuapónico. Aunque algunos aspectos de los conocimientos sobre la calidad del agua y la química del agua necesaria para la acuaponía parecen complicados, la gestión actual es relativamente simple con la ayuda de kits de prueba simples. Las pruebas del agua son esenciales para mantener la buena calidad del agua en el sistema (Carruthers, 2015).

La acuaponía consiste principalmente en equilibrar un ecosistema de tres grupos de organismos: peces, plantas y bacterias. Cada organismo en una unidad acuapónica tiene un rango de tolerancia específico para cada parámetro de calidad del agua (Tabla 1). Los rangos de tolerancia son relativamente similares para los tres organismos, pero existe una necesidad de compromiso y por lo tanto algunos organismos no estarán funcionando en su nivel óptimo (Carruthers, 2015).

Tabla 1 Tolerancias generales de la calidad del agua para peces (agua cálida o fría), plantas hidropónicas y bacterias nitrificantes (Carruthers, 2015)

Tipo de Organismo	Temp (°C)	pH	Amoniaco (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	OD (mg/L)
Peces agua templada	22-32	6-8.5	< 3	< 1	< 400	4-6
Peces agua fría	10-18	6-8.5	< 1	< 0.1	< 400	6-8
Plantas	16-30	5.5-7.5	< 30	< 1	-	> 3
Bacterias	14-34	6-8.5	< 3	< 1	-	4-8

En los sistemas acuapónicos los dos parámetros más importantes para equilibrar son el pH y temperatura. Se recomienda mantener el pH a un nivel de 6-7, o ligeramente ácido. El rango de temperatura general es de 18-30 ° C, y debe ser manejado de acuerdo con los peces objetivo o las especies de plantas cultivadas; Las bacterias prosperan a lo largo de este rango. Por lo tanto, es importante elegir los emparejamientos apropiados de especies de peces y plantas que coincidan bien con las condiciones ambientales presentes en el sitio de producción (Carruthers, 2015).

El objetivo general es mantener un ecosistema saludable con parámetros de calidad del agua que satisfacen los requisitos para el cultivo de peces, verduras y bacterias simultáneamente (Tabla 2). Hay ocasiones en que la calidad del agua deberá manipularse activamente para cumplir con estos criterios y mantener el sistema funcionando correctamente (Carruthers, 2015).

Tabla 2 Parámetros del agua ideales para la acuaponía (Carruthers, 2015)

Tipo de Organismo	Temp (°C)	pH	Amoniaco (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	OD (mg/L)
Acuaponía	18-30	6-7	< 1	< 1	5-150	< 5

5.1 Oxígeno

El oxígeno es esencial para los tres organismos involucrados en la acuaponía; Plantas, peces y bacterias nitrificantes necesitan oxígeno para vivir. El nivel de oxígeno disuelto (OD) describe la cantidad de oxígeno molecular dentro del agua y se mide en miligramos por litro. Este es el parámetro de calidad del agua que tiene el efecto más inmediato y drástico en un sistema acuapónico (Carruthers, 2015).

De hecho, los peces pueden morir en cuestión de horas cuando se exponen a un bajo OD dentro de los tanques de peces. Por lo tanto, asegurar niveles adecuados de OD es crucial para la acuaponía. Aunque el monitoreo de los niveles de OD es muy importante, puede ser un desafío, porque los dispositivos de medición del OD precisos pueden ser muy caros o difíciles de encontrar (Carruthers, 2015).

A menudo en sistemas de traspatio es suficiente con depender de la vigilancia frecuente del comportamiento de los peces y el crecimiento de las plantas, y asegurarse que las bombas de agua y aire circulan constantemente (Carruthers, 2015).

El oxígeno se disuelve directamente en la superficie del agua de la atmósfera. En condiciones naturales, los peces pueden sobrevivir en dicha agua, pero en sistemas de producción intensiva con densidades de peces más altas, esta cantidad de difusión de OD es insuficiente para satisfacer las demandas de peces, plantas y bacterias. Por lo tanto, el OD debe ser complementado a través de estrategias de gestión. Las dos estrategias para la acuaponía en pequeña escala son utilizar bombas de agua para crear un flujo de agua dinámico, y hacer uso de aireadores que producen burbujas de aire en el agua. El movimiento del agua y la aireación son aspectos críticos de cada unidad acuapónica, y su importancia no puede ser exagerada. Los niveles óptimos de OD para que cada organismo crezca son entre 5-8 mg/litro (Figura 2). Algunas especies de peces, incluyendo la carpa y la tilapia, puede tolerar los niveles de OD tan bajos como 2-3 mg / litro, pero es mucho más seguro tener los niveles más altos para la acuaponía, ya que los tres organismos exigen el uso del OD en el agua (Carruthers, 2015).

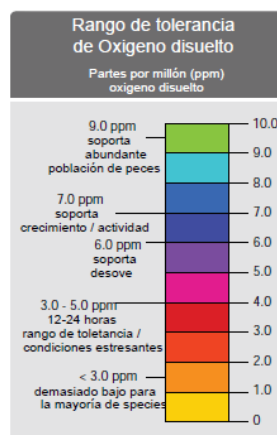
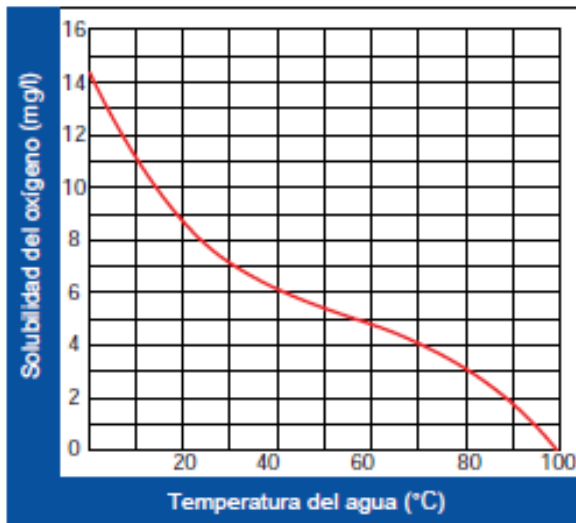


Figura 2 Rango de Tolerancia de Oxígeno disuelto (Carruthers, 2015)

La temperatura del agua y el OD tienen una relación única que puede afectar la producción de los sistemas acuapónicos. A medida que aumenta la temperatura del agua, disminuye la solubilidad del oxígeno. Dicho de otro modo, la capacidad del agua para retener el OD disminuye a medida que aumenta la temperatura; El agua caliente contiene menos oxígeno que el agua fría (Figura 2).



temperatura (Carruthers, 2015)

Figura 3 Solubilidad del oxígeno en relación a la

Como tal, se recomienda aumentar la aireación usando bombas de aire en lugares cálidos o durante las épocas más calientes del año, especialmente si se plantean peces delicados.

5.2 pH

Un conocimiento general del pH es útil para la gestión de sistemas acuapónicos. El pH es la medida de lo ácido o básico de una solución en una escala que varía de 1 a 14. Un pH de 7 es neutro; Cualquier cosa debajo de 7 es ácida, mientras que cualquier cosa sobre 7 es básica. El término pH se define como la cantidad de iones hidrógeno (H^+) en una solución; Mientras más iones de hidrógeno, la solución es más ácida.

puede conducir a deficiencias de nutrientes de hierro, fósforo y manganeso. Este fenómeno se conoce como bloqueo de nutrientes (Carruthers, 2015).

Las bacterias nitrificantes experimentan dificultades por debajo de un pH de 6, y la capacidad de la bacteria para convertir amoníaco en nitrato se reduce en condiciones ácidas y de bajo pH. Esto puede conducir a una reducción de la biofiltración, y como resultado las bacterias disminuyen la conversión de amoníaco en nitrato, y los niveles de amoníaco pueden comenzar a aumentar, lo que lleva a un sistema desequilibrado estresante para los otros organismos (Carruthers, 2015).

Los peces tienen rangos de tolerancia específicos para el pH también, pero la mayoría de los peces utilizados en acuaponía tienen un rango de tolerancia de pH de 6,0-8,5. Sin embargo, el pH afecta la toxicidad del amoníaco a los peces, con un pH más alto que conduce a una mayor toxicidad. En conclusión, el agua acuapónica ideal es ligeramente ácida, con un rango óptimo de pH de 6-7. Esta gama mantendrá las bacterias funcionando a una alta capacidad, mientras que permite a las plantas el pleno acceso a todos los micro y macronutrientes esenciales. Los valores de pH entre 5,5 y 7,5 requieren atención de la administración y manipulación a través de medios lentos. Sin embargo, un pH inferior a 5 o superior a 8 puede convertirse rápidamente en un problema crítico para todo el ecosistema y, por lo tanto, se requiere atención inmediata (Carruthers, 2015).

Hay muchos procesos biológicos y químicos que tienen lugar en un sistema acuapónico que afectan el pH del agua, algunos más significativamente que otros, incluyendo: El proceso de nitrificación; La densidad de población de peces; Y el fitoplancton (Carruthers, 2015).

5.2.2 El Proceso de Nitrificación

El proceso de nitrificación de las bacterias reduce naturalmente el pH de un sistema acuapónico (Carruthers, 2015).

Las débiles concentraciones de ácido nítrico se producen a partir del proceso de nitrificación, ya que las bacterias liberan iones de hidrógeno durante la conversión del amoníaco en nitrato. Con el tiempo, el sistema acuapónico se va

haciendo gradualmente más ácido, principalmente como resultado de esta actividad bacteriana (Carruthers, 2015).

5.2.3 Densidad de Población de Peces

La respiración de los peces libera dióxido de carbono (CO₂) en el agua. Este dióxido de carbono disminuye el pH porque el dióxido de carbono se convierte naturalmente en ácido carbónico (H₂CO₃) al entrar en contacto con el agua. Cuanto mayor sea la densidad de población de peces en la unidad, más dióxido de carbono se liberará, por lo tanto, se reduce el nivel de pH global. Este efecto se incrementa cuando los peces son más activos, como a temperaturas más cálidas (Carruthers, 2015).

5.2.4 Fitoplancton

La respiración de los peces disminuye el pH liberando dióxido de carbono en el agua; Por el contrario, la fotosíntesis del plancton, las algas y las plantas acuáticas eliminan el dióxido de carbono del agua y elevan el pH. El efecto de las algas sobre el pH sigue un patrón diario, en el que el pH aumenta durante el día, ya que las plantas acuáticas fotosíntesis y eliminar el ácido carbónico, y luego cae durante la noche como las plantas respirar y liberar ácido carbónico. Por lo tanto, el pH es mínimo al amanecer y máximo al atardecer. En sistemas RAS o acuapónicos estándar, los niveles de fitoplancton son generalmente bajos y, por lo tanto, el ciclo de pH diario no se ve afectado (Carruthers, 2015).

5.3 Temperatura

La temperatura del agua afecta a todos los aspectos de los sistemas acuapónicos. En general, un rango de compromiso general es de 18-30 °C. La temperatura tiene un efecto sobre el OD, así como sobre la toxicidad (ionización) del amoníaco; Las altas temperaturas tienen menos OD y más amoníaco unificado (tóxico). Además, las altas temperaturas pueden restringir la absorción de calcio en las plantas. La combinación de peces y plantas se debe elegir para que coincida con la temperatura ambiente para la ubicación de los sistemas, y el cambio de la temperatura del agua puede ser muy intensivo en energía y costoso. Los peces de agua caliente (por ejemplo, tilapia (*Orochromis spp.*), carpa común (*Cyprinus carpio*), bagre (*Ictalurus punctatus*) y las bacterias nitrificantes prosperan en

temperaturas de agua más altas de 22-29 ° C, al igual que algunas verduras populares como okra (*Abelmoschus esculentus*), coles asiáticas (*Brassica rapa*) y albahaca (*Ocimum basilicum*). Por el contrario, algunos vegetales comunes como la lechuga (*Lactuca sativa*), la acelga (*Beta vulgaris*) y los pepinos (*Cucumis sativus*) crecen mejor en temperaturas más frías de 18-26 ° C, y los peces de agua fría como la trucha no tolerarán temperaturas superiores a los 18 ° C (Carruthers, 2015).

Aunque lo mejor es elegir plantas y peces ya adaptados al clima local, hay técnicas de manejo que pueden minimizar las fluctuaciones de temperatura y ampliar la temporada de crecimiento. Los sistemas también son más productivos si las fluctuaciones diarias, de día a noche, de temperatura son mínimas. Por lo tanto, la superficie del agua en sí, en todos los tanques de peces, unidades hidropónicas y biofiltros, debe protegerse del sol usando estructuras de sombra. De forma similar, la unidad puede protegerse térmicamente utilizando aislamiento contra las temperaturas nocturnas frescas dondequiera que se produzcan. Alternativamente, existen métodos para calentar pasivamente las unidades acuapónicas usando invernaderos o energía solar con tuberías agrícolas en espiral, que son más útiles cuando las temperaturas son inferiores a 15 ° C (Carruthers, 2015).

También es posible adoptar una estrategia de producción de peces para hacer frente a las diferencias de temperatura entre invierno y verano, especialmente si la temporada de invierno tiene temperaturas promedio de menos de 15 ° C durante más de tres meses. En general, esto significa que los peces y plantas adaptados al frío se cultivan durante el invierno, y el sistema se cambia a los peces de agua caliente y las plantas a medida que las temperaturas vuelven a subir en primavera. Si estos métodos no son factibles durante las estaciones frías de invierno, también es posible simplemente cosechar los peces y las plantas al comienzo del invierno y cerrar los sistemas hasta la primavera. Durante las estaciones de verano con temperaturas extremadamente cálidas (más de 35 ° C), es esencial para seleccionar los peces y las plantas adecuadas para crecer y sombrear todos los contenedores y el espacio de cultivo de la planta (Carruthers, 2015).

5.4 Nitrógeno Total: Amoníaco, Nitrito, Nitrato

El nitrógeno es el cuarto parámetro crucial de la calidad del agua. Es requerido por toda la vida, y forma parte de todas las proteínas. El nitrógeno entra originalmente en un sistema acuapónico a partir de la alimentación de los peces, usualmente etiquetada como proteína cruda y medida como un porcentaje. Algunas de estas proteínas son usadas por el pez para crecer, y el resto es liberado por el pez como desecho. Este residuo es en su mayor parte en forma de amoníaco (NH_3) y se libera a través de las branquias y orina. También se liberan desechos sólidos, algunos de los cuales se convierten en amoníaco por actividad microbiana. Este amoníaco es entonces nitrificado por bacterias, y convertido en nitrito (NO_2^-) y después en nitrato (NO_3^-). Los desechos nitrogenados son venenosos para los peces en ciertas concentraciones, aunque el amoníaco y el nitrito son aproximadamente 100 veces más venenosos que el nitrato. Estos compuestos aunque son tóxicos para los peces, los compuestos de nitrógeno son nutritivos para las plantas, y de hecho son el componente básico de los fertilizantes de las plantas. Las tres formas de nitrógeno (NH_3 , NO_2^- y NO_3^-) pueden ser utilizadas por las plantas, pero el nitrato es por lejos el más accesible. En una unidad acuapónica completamente funcional con una biofiltración adecuada, los niveles de amoníaco y nitrito deben ser cercanos a cero, o como máximo 0,25-1,0 mg / litro. Las bacterias presentes en el biofiltro deben convertir casi todo el amoníaco y nitrito en nitrato antes de que pueda ocurrir cualquier acumulación (Carruthers, 2015).

5.4.1 Impactos del Alto Contenido de Amoníaco

El amoníaco es tóxico para los peces. La tilapia (*Orochromis spp.*) y la carpa común (*Cyprinus carpio*) pueden mostrar síntomas de intoxicación por amoníaco a niveles tan bajos como 1,0 mg / litro. La exposición prolongada en o por encima de este nivel causará daño al sistema nervioso central y las branquias de los peces, resultando en pérdida de equilibrio, alteración de la respiración y convulsiones. El daño a las branquias, a menudo evidenciado por coloración roja e inflamación en las mismas, restringirá el correcto funcionamiento de otros procesos fisiológicos, llevando a un sistema inmune suprimido y una muerte eventual (Carruthers, 2015).

Otros síntomas incluyen vetas rojas en el cuerpo, letargo y jadeo en la superficie para el aire. A niveles más altos de amoníaco, los efectos son inmediatos y pueden ocurrir rápidamente. Sin embargo, los niveles más bajos durante un largo período todavía pueden resultar en estrés de peces, aumento de la incidencia de la enfermedad y más pérdida de peces (Carruthers, 2015).

Como se discutió anteriormente, la toxicidad del amoníaco depende en realidad tanto del pH como de la temperatura, donde el pH más alto y la temperatura del agua hacen que el amoníaco sea más tóxico (Carruthers, 2015).

Químicamente, el amoníaco puede existir en dos formas en agua, ionizada y unida. Juntas, estas dos formas juntas se llaman nitrógeno total de amoníaco (TAN), y los kits de prueba de agua son incapaces de distinguir entre los dos. En condiciones ácidas, el amoníaco se une con el exceso de iones hidrógeno (bajo pH significa una alta concentración de H+) y se vuelve menos tóxico. Esta forma ionizada se llama amonio. Sin embargo, en condiciones básicas (pH alto, por encima de 7), no hay suficientes iones de hidrógeno y el amoníaco permanece en su estado más tóxico, e incluso niveles bajos de amoníaco pueden ser muy estresantes para los peces. Este problema se exagera en condiciones de agua caliente (Carruthers, 2015).

La actividad de las bacterias nitrificantes disminuye dramáticamente a altos niveles de amoníaco. El amoníaco puede utilizarse como agente antibacteriano y, a niveles superiores a 4 mg/L, inhibirá y reducirá drásticamente la eficacia de las bacterias nitrificantes. Esto puede resultar en una situación de deterioro exponencial cuando un biofiltro subdimensionado es abrumado por el amoníaco, las bacterias mueren y el amoníaco aumenta aún más (Carruthers, 2015).

5.4.2 Impactos de los Altos Niveles de Nitrito

El nitrito es tóxico para los peces. Al igual que el amoníaco, pueden surgir problemas con la salud de los peces con concentraciones tan bajas como 0,25 mg/L. Los altos niveles de NO₂⁻ pueden conducir de inmediato a muertes rápidas de peces. Una vez más, incluso niveles bajos durante un período prolongado pueden provocar estrés en los peces, la enfermedad y la muerte (Carruthers, 2015).

Los niveles tóxicos de NO_2^- impiden el transporte de oxígeno dentro del torrente sanguíneo de los peces, lo que hace que la sangre se vuelva de color marrón chocolate y que a veces se conoce como "enfermedad de la sangre parda". Este efecto puede verse también en las branquias de peces. Los peces afectados presentan síntomas similares al envenenamiento por amoníaco, particularmente donde los peces parecen estar privados de oxígeno, y se ven jadeando en la superficie incluso en agua con una alta concentración de OD (Carruthers, 2015).

5.4.3 Impactos de los Altos Niveles de Nitrato

El nitrato es mucho menos tóxico que las otras formas de nitrógeno. Es la forma más accesible de nitrógeno para las plantas, y la producción de nitrato es la meta del biofiltro (Carruthers, 2015).

Los peces pueden tolerar niveles de hasta 300 mg/L, con algunos peces tolerando niveles tan altos como 400 mg/L. Los niveles altos (> 250 mg/L) tendrán un impacto negativo en las plantas, lo que conducirá a un crecimiento vegetativo excesivo y a una acumulación peligrosa de nitratos en las hojas, lo cual es peligroso para la salud humana. Se recomienda mantener los niveles de nitrato entre 5-150 mg/litro e intercambiar agua cuando los niveles se vuelven más altos (Carruthers, 2015).

5.5 Dureza del Agua

El parámetro final de calidad del agua es la dureza del agua. Hay dos tipos principales de dureza: la dureza general (GH) y la dureza del carbonato (KH). La dureza general es una medida de los iones positivos en el agua. La dureza del carbonato, también conocida como alcalinidad, es una medida de la capacidad buffer del agua. El primer tipo de dureza no tiene un impacto importante en el proceso acuapónico, pero la KH tiene una relación única con el pH que merece más explicación (Carruthers, 2015).

5.5.1 Dureza General

La dureza general es esencialmente la cantidad de iones de calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y, en menor medida, hierro (Fe^{+}) presentes en el agua. Se mide en partes por millón (equivalente a miligramos por litro). Las concentraciones elevadas de GH se encuentran en fuentes de agua como los acuíferos y / o los lechos de los ríos, ya que la piedra caliza se compone esencialmente de carbonato de calcio (CaCO_3). Ambos iones Ca^{2+} y Mg^{2+} son nutrientes esenciales de las plantas, y son absorbidos por las plantas a medida que el agua fluye a través de los componentes hidropónicos. El agua de lluvia tiene baja dureza del agua debido a que estos iones no se encuentran en la atmósfera. El agua dura puede ser una fuente útil de micronutrientes para la acuaponía, y no tiene efectos sobre la salud de los organismos. De hecho, la presencia de calcio en el agua puede evitar que los peces pierdan otras sales y conducir a un stock más saludable (Carruthers, 2015).

5.5.2 Dureza o Alcalinidad del Carbonato

La dureza del carbonato es la cantidad total de carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) disueltos en agua. También se mide en miligramos de CaCO_3 por litro. En general, se considera que el agua tiene una KH alta a niveles de 121-180 mg/L. El agua procedente de los pozos / acuíferos de la roca caliza tendrá normalmente una alta dureza de carbonato de aproximadamente 150-180 mg/L (Carruthers, 2015).

La dureza del carbonato en el agua tiene un impacto en el nivel de pH. En pocas palabras, la KH actúa como un amortiguador (o una resistencia) a la disminución del pH. El carbonato y el bicarbonato presentes en el agua se unirán a los iones H^+ liberados por cualquier ácido, eliminando así estos iones H^+ libres del agua. Por lo tanto, el pH se mantendrá constante incluso cuando se añadan nuevos iones H^+ del ácido al agua. Este tampón de KH es importante, porque los cambios rápidos en el pH son estresantes para todo el ecosistema acuapónico. El proceso de nitrificación genera ácido nítrico (HNO_3), que se disocia en el agua en sus dos componentes, los iones hidrógeno (H^+) y nitrato (NO_3^-), siendo este último utilizado como fuente de nutrientes para las plantas. Sin embargo, con KH adecuado el agua no se vuelve realmente más ácido. Si no hubiera carbonatos y bicarbonatos

presentes en el agua, el pH bajaría rápidamente en la unidad acuapónica. Cuanto mayor sea la concentración de KH en el agua, más tiempo actuará como un amortiguador para el pH para mantener el sistema estable contra la acidificación causada por el proceso de nitrificación (Carruthers, 2015).

Es un proceso bastante complicado, pero es importante entender para los practicantes de acuaponía (u otros cultivadores sin suelo) donde el agua disponible es naturalmente muy dura (lo que es normalmente el caso en regiones con piedra caliza o roca madre), ya que la manipulación del pH se convierte en una parte vital de la gestión de la unidad (Carruthers, 2015).

Como se mencionó anteriormente, la nitrificación constante en una unidad acuapónica produce ácido nítrico y aumenta el número de iones H^+ , lo que reduciría el pH en el agua. Si no hay carbonatos o bicarbonatos presentes para amortiguar los iones H^+ en el agua, el pH caerá rápidamente a medida que se añadan más iones H^+ al agua. Los carbonatos y bicarbonatos, se unen con los iones hidrógeno (H^+) liberados del ácido nítrico y mantienen un pH constante equilibrando el excedente de H^+ con la producción de ácido carbónico, que es un ácido muy débil. Los iones H^+ permanecen unidos al compuesto y no son libres en el agua (Carruthers, 2015)..

Es esencial para la acuaponía que una cierta concentración de KH esté presente en todo momento en el agua, ya que puede neutralizar los ácidos creados naturalmente y mantener el pH constante. Sin una KH adecuada, la unidad podría ser sometida a cambios rápidos de pH que tendrían impactos negativos en todo el sistema, especialmente en los peces. Sin embargo, la KH está presente en muchas fuentes de agua. La reposición de la unidad con agua de estas fuentes también debe reponer los niveles de la KH. Sin embargo, el agua de lluvia es baja en KH, por lo que es necesario agregar fuentes externas de carbonato (Carruthers, 2015).

5.5.3 Resumen de Puntos Esenciales sobre Dureza

La dureza general (GH) es la medición de iones positivos, especialmente de calcio y magnesio. La dureza de carbonato (KH) mide la concentración de carbonatos y bicarbonatos que amortiguan el pH (crea resistencia al cambio de pH) (Carruthers, 2015). La dureza se puede clasificar a lo largo de la escala de dureza del agua como se muestra a continuación:

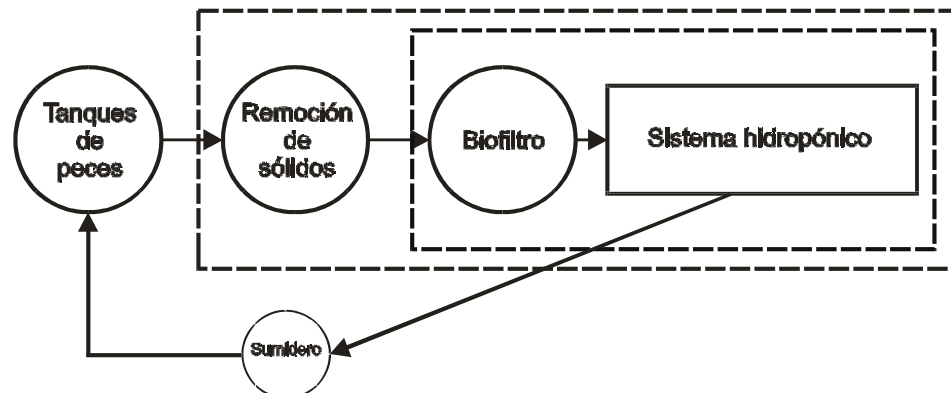
Tabla 3 Clasificación de la dureza del agua.

Clasificación de la dureza del agua	mg/litro
<i>Blanda</i>	0-60
<i>Moderadamente dura</i>	60-120
<i>Dura</i>	120-80
<i>Muy dura</i>	>180

El nivel óptimo de ambos tipos de dureza para la acuaponía es de aproximadamente 60-140 mg/L. No es vital comprobar los niveles en la unidad, pero es importante que el agua utilizada para reponer la unidad tenga concentraciones adecuadas de KH para continuar neutralizando el ácido nítrico producido durante el proceso de nitrificación y para amortiguar el pH a su nivel óptimo (6-7) (Carruthers, 2015).

VI. Consideraciones para el Diseño de un Sistema Acuapónico

Todos los sistemas acuapónicos comparten varios componentes comunes y esenciales. Estos incluyen: un tanque de peces, un filtro mecánico, un biofiltro y contenedores hidropónicos. Además, todos los sistemas utilizan energía para hacer circular el agua a través de tuberías y fontanería mientras airean el agua. Para fines prácticos, en este trabajo se divide todo el sistema acuapónico en tres grandes componentes; un componente biológico conformado por los peces y plantas; un componente acuícola, conformado por todos los elementos de un RAS; y un componente hidropónico.



Configuración típica de un sistema acuapónico. (Caló, 2011)

Hay muchos aspectos de diseño a tener en cuenta, ya que prácticamente todos los factores ambientales y biológicos tendrán un impacto en el ecosistema acuapónico.

6.1 Selección del Sitio

La selección del sitio es un aspecto importante que debe considerarse antes de instalar una unidad acuapónica. Es importante recordar que algunos de los componentes del sistema, especialmente el agua y los materiales de piedra, son pesados y difíciles de mover, por lo que vale la pena construir el sistema en su ubicación final. Los sitios seleccionados deben estar sobre una superficie que sea estable y nivelada, en un área que esté protegida del clima severo pero expuesto a la luz solar considerable (Carruthers, 2015).

6.1.1 Estabilidad

Es necesario asegurarse de elegir un sitio que sea estable y nivelado. Algunos de los componentes principales de un sistema acuapónico son pesados, conduciendo al riesgo potencial de las piernas del sistema que se hunde en la tierra. Esto puede conducir a un flujo de agua interrumpido, inundaciones o colapso catastrófico. Encuentre el nivel más alto y sólido disponible. Losas de hormigón son adecuadas, pero no permiten que ningún componente sea enterrado, lo que puede provocar riesgos de tropezar. Si el sistema está construido sobre el suelo, es útil para nivelar el suelo y colocar material para mitigar las malas hierbas. Además, se pueden colocar bloques de concreto o cemento debajo de las patas de los lechos de crecimiento para mejorar la estabilidad. La grava se utiliza a menudo para nivelar y para estabilizar posiciones del suelo. Además, es importante colocar los tanques de peces en una base; Esto ayudará a proporcionar estabilidad, proteger el tanque, permitir la plomería y drenajes en el fondo del tanque, y aislarlo térmicamente del suelo (Carruthers, 2015).

6.1.2 Exposición al Viento, Lluvia y Nieve

Las condiciones ambientales extremas pueden estresar a las plantas y destruir estructuras. Los fuertes vientos prevalecientes pueden tener un impacto negativo considerable en la producción de las plantas y pueden causar daños a los tallos y las partes reproductivas. Además, una fuerte lluvia puede dañar las plantas y dañar las tomas eléctricas desprotegidas. Grandes cantidades de lluvia pueden diluir el agua rica en nutrientes, y pueden inundar un sistema si no hay un mecanismo de desbordamiento integrado en la unidad. La nieve provoca los mismos problemas que las fuertes lluvias (Carruthers, 2015). Se recomienda que el sistema esté ubicado en una zona protegida contra el viento. Si las lluvias fuertes son comunes, puede valer la pena proteger el sistema con una casa sombra, aunque esto puede no ser necesario en todos los lugares.

6.1.3 Exposición a la Luz Solar y a la Sombra

La luz solar es fundamental para las plantas, y como tal, las plantas necesitan recibir una cantidad óptima de luz solar durante todo el día. La mayoría de las plantas comunes para la acuaponía crecen bien en condiciones de pleno sol; Sin embargo, si la luz del sol es demasiado intensa, se puede instalar una estructura de sombra simple sobre las camas de cultivo. Algunas plantas sensibles a la luz, incluyendo la lechuga, las hortalizas de hoja verdes de la ensalada y algunas coles, atornillarán en demasiado sol, van a la semilla y se vuelven amargas y desagradables. Otras plantas tropicales adaptadas al suelo de la jungla, como la cúrcuma y ciertas plantas ornamentales, pueden exhibir quemaduras de hojas cuando se exponen a un sol excesivo, y lo hacen mejor con cierta sombra. Por otro lado, con insuficiente luz solar, algunas plantas pueden tener tasas de crecimiento lento. Esta situación se puede evitar colocando la unidad acuapónica en un lugar soleado. Si un área sombreada es la única ubicación disponible, se recomienda plantar especies tolerantes a la sombra (Carruthers, 2015).

Los sistemas se deben diseñar para aprovecharse del sol que viaja de este a oeste a través del cielo. Generalmente, las camas de cultivo deben estar espacialmente dispuestos de tal manera que el lado más largo esté en un eje norte-sur. Esto hace que el uso más eficiente del sol durante el día. Alternativamente, si se prefiere menos luz, oriente los lechos, las tuberías y los canales siguiendo el eje este-oeste. También considere dónde y cuándo hay sombras que cruzan el sitio elegido. Tenga cuidado en el arreglo de las plantas de modo que no se sombreen inadvertidamente. Sin embargo, es posible usar plantas altas y amantes del sol para sombrear las plantas sensibles a la luz del sol intenso de la tarde colocando las plantas altas al oeste o alternando las dos en una distribución dispersa (Carruthers, 2015).

A diferencia de las plantas, los peces no necesitan luz solar directa. De hecho, es importante que los tanques de peces estén a la sombra. Normalmente, los tanques de peces están cubiertos con un material de sombreado removible que se coloca en la parte superior del tanque. Sin embargo, cuando sea posible, es mejor aislar los tanques de peces usando una estructura de sombreado separada.

Esta evitará el crecimiento de algas y ayudará a mantener una temperatura estable del agua durante el día. También vale la pena evitar que las hojas y los desechos orgánicos entren en los tanques de peces, ya que la materia en descomposición de las hojas puede manchar el agua, afectar la química del agua y obstruir las tuberías. Localice el sistema lejos de la vegetación que sobresale o mantenga el tanque cubierto con una pantalla. Además, los tanques de peces son vulnerables a los depredadores. El uso de redes de sombra, lonas u otro tamizaje sobre los tanques de peces evitará todas estas amenazas.

6.1.4 Utilidades, Cercas y Facilidad de Acceso

En la selección de sitios, es importante considerar la disponibilidad de servicios públicos. Se necesitan tomas eléctricas para bombas de agua y aire. Estas salidas deben protegerse del agua y estar equipadas con un dispositivo de corriente residual (RCD) para reducir el riesgo de descarga eléctrica; Los adaptadores RCD se pueden adquirir en tiendas de hardware estándar. Además, la fuente de agua debe ser fácilmente accesible, ya sea agua municipal o unidades de recolección de lluvia (Carruthers, 2015).

Del mismo modo, Se debe considerar dónde irá cualquier efluente del sistema. Aunque son extremadamente eficientes en el uso del agua, los sistemas acuapónicos requieren ocasionalmente cambios de agua, y los filtros y clarificadores necesitan ser enjuagados. Es conveniente tener algunas plantas en suelo situadas cerca, que se beneficiarían de esta agua. El sistema debe ubicarse donde sea fácil para el acceso diario, ya que se requiere monitoreo frecuente y alimentación diaria. Finalmente, considere si es necesario cercar toda la sección. A veces se requieren cercas para prevenir el robo y el vandalismo, las plagas de animales y para algunas regulaciones de seguridad alimentaria (Carruthers, 2015).

6.2 Componente Biológico

6.2.1 Plantas

Muchos tipos de verduras se han cultivado en sistemas acuapónicos. Sin embargo, el objetivo es cultivar una hortaliza que genere el mayor nivel de ingresos por unidad de área por unidad de tiempo. Con este criterio, las hierbas culinarias son la mejor opción. Estas crecen muy rápidamente y presentan altos precios de mercado. El ingreso de hierbas como albahaca (*Ocimum basilicum*), cilantro (*Coriandrum sativum*), cebollino (*Allium schoenoprasum*), perejil (*Petroselinum crispum*), verdolaga (*Portulaca oleracea*) y menta (*Mentha piperita*) es mucho mayor que el de cultivos fructíferos como tomates (*Solanum lycopersicum*), pepinos (*Cucumis sativus*), berenjenas (*Solanum melongena*) y okra (*Abelmoschus esculentus*) (Bakiu & Shehu, 2014)

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.

En sistemas acuapónicos el tipo de siembra que se recomienda utilizar es el cultivo escalonado, el cual 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. 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 (Caló, 2011).

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

6.2.2 Peces

El tipo de peces que se utilizan en un sistema acuapónico depende del clima que rodeará al sistema acuapónico y, por tanto, de la temperatura que el productor puede mantener, los tipos de peces que el departamento local de pesca ha especificado como legales (El cultivo de peces que no son nativos de la región), el tipo de pescado deseable para el consumo de los consumidores y el tipo de alimento para peces disponible para el productor (Nelson & Pade, 2008).

Varias especies de aguas cálidas y frías están adaptadas a los sistemas de recirculación acuícola y se han utilizado exitosamente en sistemas acuapónicos; entre ellas se incluyen a la tilapia (*Oreochromis spp*), trucha (*Oncorhynchus mykiss*), perca europea (*Perca fluviatilis*) y Artic char, una variedad de trucha proveniente del Canadá (*Salvelinus alpinus*) (Iturbide D, 2008). De todas estas especies la que se ha adaptado mejor es la tilapia, esta especie es tolerante a condiciones fluctuantes del agua, como el pH, temperatura, oxígeno y sólidos disueltos.

Otras especies que se han utilizado en estos sistemas son: Lobina (*Micropterus salmoides*), bagre de canal (*Ictalurus punctatus*), carpa koi (*Cyprinus carpio*), pez dorado (*Carassius auratus*), barramundi (*Lates calcarifer*), bacalao Murray (*Maccullochella peelii*), (Nelson & Pade, 2008), trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y carpa común (*Cyprinus carpio*) (Rakocy et al., 2006). Otros más allá de esta lista incluyen peces de agua caliente que son resistentes y pueden adaptarse a la alimentación comercial de peces y altos niveles de aglomeración (Nelson, 2008), incluyendo los peces de ornato. El robalo rayado híbrido es una especie que según se informa no funciona bien en los sistemas

acuapónicos, ya que no puede tolerar altos niveles de potasio - un suplemento común utilizado para el crecimiento de las plantas (Rakocy et al., 2006).

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 (Caló, 2011). Este tipo de manejo es ideal para sistemas grandes, comerciales, porque genera cosechas regulares y permite una buena planificación de la producción.

6.3 Componente Acuícola

6.3.1 Tanque de Peces

Los tanques de peces son un componente crucial en cada unidad. Como tal, los tanques de peces pueden representar hasta el 20 por ciento del costo total de una unidad acuapónica. Los peces requieren ciertas condiciones para sobrevivir y prosperar, y por lo tanto el tanque de peces debe ser elegido sabiamente. Hay varios aspectos importantes a considerar, incluyendo la forma, el material y el color.(Carruthers, 2015)

6.3.1.1 Forma del tanque

Aunque cualquier tipo de tanque de pescado funcionará, se recomiendan tanques redondos con fondos planos. La forma redonda permite que el agua circule uniformemente y transporta los residuos sólidos hacia el centro del tanque por fuerza centrípeta. Los tanques cuadrados con fondos planos son perfectamente aceptables, pero requieren una eliminación más activa de los desechos sólidos. La forma del tanque afecta grandemente la circulación del agua, y es bastante arriesgado tener un tanque con la circulación por tanques de forma artística con formas no geométricas con muchas curvas, pues estas pueden crear puntos muertos en el agua sin circulación. Estas áreas pueden reunir desechos y crear

condiciones anóxicas y peligrosas para los peces. Si se va a utilizar un tanque de forma impar, puede ser necesario agregar bombas de agua o bombas de aire para asegurar una circulación adecuada y eliminar los sólidos. Es importante elegir un tanque que se adapte a las características de las especies acuáticas criadas porque muchas especies de peces prefieren la parte inferior del tanque y muestran un mejor crecimiento y menos estrés con un espacio horizontal adecuado. (Carruthers, 2015)

6.3.1.2 Material

Se recomienda un plástico fuerte o fibra de vidrio inerte debido a su durabilidad y larga vida útil. El metal no es una opción viable debido a la formación de óxido. Los abrevaderos de agua para animales son comúnmente usados en sistemas de traspatio, ya que tienden a ser baratos. Si se utilizan recipientes de plástico, es necesario asegurarse de que son resistentes a los rayos UV ya que la luz directa del sol puede destruir el plástico. En general, los tanques de polietileno de baja densidad (LDPE) son preferibles debido a su alta resistencia y características de grado alimenticio. De hecho, el LDPE es el material más utilizado para tanques de almacenamiento de agua para usos civiles. Otra opción es un estanque en el suelo. Los estanques naturales son muy difíciles de manejar para la acuaponía debido a que los procesos biológicos naturales, que ya se producen dentro del sustrato y el lodo en la parte inferior, pueden ser difíciles de manipular y los nutrientes a menudo son utilizados por las plantas acuáticas. El cemento o los estanques alineados de plástico son mucho más aceptables, y pueden ser una opción barata. Los estanques en tierra pueden dificultar las operaciones de plomería, y el diseño de la plomería debe ser cuidadosamente considerado antes de embarcarse en esta opción. Uno de los tanques de peces más simples es un agujero cavado en el suelo, forrado con ladrillos o bloques de cemento, y luego forrado con un revestimiento impermeable como plástico de polietileno. Otras opciones incluyen recipientes de segunda mano, tales como bañeras, barriles o contenedores intermedios a granel (GRG). Es muy importante asegurarse de que el recipiente no ha sido utilizado previamente para almacenar material tóxico. Los contaminantes, tales como los químicos a base de disolventes, habrán penetrado en el propio plástico poroso y son imposibles de eliminar con el lavado. Por lo tanto, elija los

contenedores usados con cuidado, y conocer al vendedor si es posible (Carruthers, 2015).

6.3.1.3 Requisitos Medioambientales

Debido al potencial de calor intenso en el verano ya la susceptibilidad de las bacterias a la luz directa del sol, el tanque de peces deberá estar siempre cubierto o sombreado. Las bacterias nitrificantes son muy sensibles a la luz y serán destruidas o muy inhibidas por la luz solar directa. Un invernadero sería ideal, pero un paño de sombra pesado o sólido en un mínimo se requiere. A los peces no les gusta estar al sol y un tanque sin protección se calienta rápidamente. Para protegerse de algunos de los extremos de frío intensos, también puede ser deseable colocar alfombra o algún otro aislamiento debajo del tanque antes de llenarlo para ayudar a proteger la temperatura durante el invierno. Además, se deberá considerar la posibilidad de envolver el exterior del tanque en el invierno para aislar del frío. En este caso, no coloque el tanque demasiado cerca de una pared que no pueda moverse. En cualquier caso, es una buena idea tener una cubierta sólida (o compensar si está sombreada) sobre el tanque cuando los peces se introducen por primera vez en el sistema, ya que muchas especies tratarán de saltar fuera de su nuevo entorno (Carruthers, 2015).

6.3.2 Filtros Mecánicos

Los peces producen una variedad de desechos incluyendo sólidos, amoníaco, dióxido de carbono y otros materiales. Estos desechos deben ser eliminados del agua del cultivo o se vuelven tóxicos para los peces. Por lo que, se han desarrollado muchos métodos para eliminar los desechos de los productos pesqueros.(Hochheimer & Wheaton, 1998)

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, tapparían cualquier otro filtro que se intente colocar, y en un corto plazo, se interrumpiría el correcto funcionamiento del sistema. Estas zonas anaeróbicas pueden albergar bacterias que producen sulfuro de hidrógeno, un gas muy tóxico y

letal para los peces, producido a partir de la fermentación de desechos sólidos, que a menudo se puede detectar como un olor a huevo podrido (Carruthers, 2015).

Es por esto, que los sólidos en suspensión son los primeros en eliminarse en un sistema acuapónico (Caló, 2011). La regla de oro para los sistemas acuapónicos en términos de tratamiento y procesamiento de sólidos es eliminar el mayor número de sólidos lo más rápido posible (Lennard, 2012b).

Existen varios métodos para eliminar físicamente los sólidos de forma rápida de los cuerpos de agua; Los dos más comunes son:

1. Técnicas de sedimentación (los sólidos se separan de la columna de agua Utilizando la gravedad para resolverlos).

2. Técnicas mecánicas (los sólidos son eliminados mecánicamente del agua Columna - por ejemplo: tamizaje).

6.3.2.1 Sedimentación

La sedimentación utiliza la fuerza de la gravedad sobre las partículas sólidas para depositarlas fuera de la columna de agua. Una partícula sólida tiene su propia masa (o peso) y por lo tanto la gravedad hará que caiga en la columna de agua a la base del tanque. Una vez en la parte inferior del tanque, se puede utilizar un método auxiliar para extraer los sólidos recogidos del dispositivo de sedimentación (por ejemplo: eliminación activa por succión). Los sólidos que se pueden eliminar de esta manera están restringidos a las partículas más grandes, ya que las muy pequeñas tienen una masa y una densidad más bajas y por lo tanto, no se hunden tan rápidamente (Lennard, 2012b).

La velocidad a la que cae una partícula sólida está directamente relacionada con la masa de la partícula. Además, si el agua fluye a través del tanque de sedimentación demasiado rápido, entonces las partículas de sólidos no tienen tiempo para caer al fondo y así permanecen en suspensión y pueden salir del tanque de sedimentación con el flujo de agua (Lennard, 2012b). Por lo tanto, los requisitos clave en el diseño y dimensionamiento de los dispositivos de sedimentación son:

1. El caudal del agua a través del dispositivo de sedimentación.
2. El tiempo de retención del agua en el dispositivo (que está relacionado con el caudal y el volumen del dispositivo).

El caudal a través del dispositivo de sedimentación se establece por el caudal de agua que sale de los tanques de peces. El caudal de agua a través del tanque de peces depende de la densidad de peces que se mantiene en el tanque; Para las densidades bajas y medias (hasta 15 kg / m³), el tipo de cambio de la mitad del volumen del tanque de peces por hora es el mínimo recomendado (generalmente, 3 cuartos del volumen del tanque de pescado por hora es mejor) y densidades superiores a 15 Kg / m³ se recomienda un tipo de cambio mínimo de 1 volumen de tanque de peces por hora (Lennard, 2012b).

Cuanto más largo sea el tiempo de retención, más y más pequeñas partículas sólidas caerán al fondo del tanque y se separarán. Por lo tanto, debemos diseñar un tiempo de retención que dure lo más prácticamente posible en nuestros dispositivos de sedimentación. Sin embargo, normalmente estamos restringidos por otros factores como el espacio disponible, lo que significa que no siempre podemos construir grandes dispositivos de sedimentación. Por lo tanto, el tamaño del dispositivo utilizado es un compromiso entre el tiempo de retención y el espacio disponible que tenemos (Lennard, 2012b).

Si 1 hora, o más, de tiempo de retención es posible, entonces debemos usar esto. Sin embargo, si hay restricciones de espacio, un tiempo mínimo de retención es de 20 minutos (Lennard, 2012b).

El dispositivo de sedimentación más básico es un tanque rectangular; El agua entra por un extremo, fluye lentamente por el tanque para permitir que los sólidos se asienten y salga por el otro extremo. Los sólidos se retiran regularmente de la base del tanque de sedimentación de alguna manera (Lennard, 2012b).

Otra forma de dispositivo de sedimentación es el tanque de sedimentación de turbulencia (Figura 5). Esto consiste en un tanque redondo del volumen de agua requerido para cumplir con el tiempo de retención necesario. El agua entra en el tanque de manera tangencial a la pared del tanque (lo que significa que el agua entra en el tanque y se dirige a lo largo de la pared lateral del tanque). Esto hace que el agua en el tanque de sedimentación remolino "remolino" alrededor en el tanque en un movimiento circular. Los sólidos todavía se asientan fuera de la columna de agua debido a la gravedad, pero la acción de remolino del agua en el tanque redondo los concentra al centro del tanque (Lennard, 2012b).

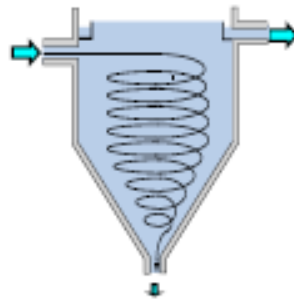


Figura 5 Diagrama de un tanque de sedimentación (Lennard, 2012b)

Esto hace que sea fácil limpiar los sólidos del tanque, ya que una salida puede estar ubicada en el centro inferior del tanque y los sólidos pueden ser eliminados rápida y regularmente por simple presión hidráulica (se abre una válvula y si la salida es más baja que la altura del agua en el tanque del remolino, después los sólidos son aspirados simplemente fuera del centro inferior del tanque del remolino y quitados con el flujo de agua) (Lennard, 2012b).

Los tanques de sedimentación también vienen en otras formas, configuraciones (por ejemplo, separadores de flujo radial) y variaciones, pero todos comparten el mismo proceso de usar la gravedad para depositar las partículas sólidas de desecho de pescado para concentrarlas y ayudar con la eliminación rápida y regular (Lennard, 2012b).

6.3.2.2 Filtración Mecánica

La filtración mecánica consiste en utilizar algún tipo de material para filtrar el agua de modo que los sólidos se separen del agua; El agua pasará a través de un tamiz, pero los sólidos no. El tamizado de los sólidos depende del tamaño del poro (o del tamaño del orificio) del material del tamiz; Cuanto más pequeño es el poro, más sólidos pueden separarse (Lennard, 2012b).

Hay muchos materiales diferentes que se pueden utilizar como malla, incluyendo pantallas de malla (similar al material de pantalla utilizado para la "serigrafía"), pantallas tejidas de plástico y esterillas de filtro. Todos realizan el mismo proceso al restringir los sólidos de pasar a través de ellos (Lennard, 2012b).

Los filtros de malla vienen en dos tipos básicos:

1. Filtros de pantalla malla (donde la pantalla no se mueve y el agua pasa a través de ella).
2. Filtros de malla en movimiento (donde la pantalla se mueve para que toda su superficie pueda estar expuesta al agua a filtrar).

Las pantallas estáticas son fáciles de auto-construir, ya que básicamente consisten en el material de pantalla que se encuentra en algún tipo de vivienda para apoyarla. Las pantallas deben ser fácilmente removibles para que puedan ser lavadas cuando sea necesario. Es a menudo el uso de filtros de pantalla estática en pequeños sistemas acuapónicos comerciales (hasta 200 m² de área de cultivo de plantas), ya que son baratos de construir y fácil de operar. Sin embargo, los filtros de pantalla estáticos necesitan una gestión activa, ya que las pantallas deben eliminarse, lavarse y volver a insertarse regularmente (Lennard, 2012b).

Este requisito de gestión activa restringe el uso de este enfoque; Cuando el número de peces o la biomasa es demasiado alta, los peces producen tantos sólidos de desecho que las pantallas se obstruyen regularmente y necesitan una mayor frecuencia de limpieza. Una vez que el requisito de lavar las pantallas se eleva a más de 2 - 3 veces al día, entonces se vuelven poco prácticos ya que el

requerimiento de mano de obra (y más importante, el tiempo necesario para estar en el sistema) se eleva demasiado (Lennard, 2012b).

El estilo más popular de filtro de pantalla es el filtro de pantalla de tambor. En este enfoque, la pantalla está unida a un tambor y el agua no filtrada entra en el interior del tambor y fluye a través de la pantalla hacia el exterior. Dentro del tambor hay un interruptor que detecta la altura del agua. Cuando la pantalla empieza a obstruirse con sólidos, el agua no pasa a través de la pantalla tan fácilmente y la altura del agua dentro del tambor comienza a subir. Si se eleva lo suficiente, dispara el interruptor y el filtro entra en lo que se conoce como el modo "back flush" (Lennard, 2012b).

En este modo de lavado a contracorriente, una serie de aspersores de alta presión se activan en el exterior del tambor y lavan los sólidos recogidos de la pantalla y dentro de un canal dentro del tambor que está directamente opuesto a las boquillas de pulverización de alta presión. Esto limpia los sólidos de la pantalla y los recoge en el canal que luego dirige los sólidos a un punto de salida. Por lo tanto, el filtro de pantalla de tambor es un filtro automático de auto-limpieza. Este enfoque tiene más sentido para sistemas más grandes con mayor biomasa de peces como la capacidad de limpieza automática significa que el operador no necesita estar presente (Lennard, 2012b).

6.3.3 Filtros Biológicos

Los filtros biológicos consisten en algunos medios sólidos que sirven como una superficie sobre la cual las bacterias pueden adherirse y vivir. (Hochheimer & Wheaton, 1998)

Las bacterias eliminan el amoníaco del agua y lo utilizan como fuente de energía para impulsar sus procesos de vida. Estos nitritos bacterianos que se excretan, requieren oxígeno y producen dióxido de carbono como subproductos de su respiración. Un grupo diferente de bacterias elimina el nitrito liberado y lo convierte en nitrato. (Hochheimer & Wheaton, 1998)

Los filtros biológicos están diseñados para mantener las diversas formas de nitrógeno inorgánico (por ejemplo, amoníaco, nitrito y nitrato) a niveles que son

saludables para los peces que se cultivan (Hochheimer & Wheaton, 1998). Además, el movimiento dinámico del agua dentro de un biofiltro descompondrá sólidos muy finos no capturados por el clarificador, lo que impide aún más la acumulación de residuos en las raíces de las plantas en NFT y DWC (Carruthers, 2015).

El biofiltro deberá ser diseñado para tener una gran superficie suministrada con agua oxigenada. El biofiltro se instala entre el filtro mecánico y los contenedores hidropónicos. El volumen mínimo de este contenedor de biofiltro debe ser un sexto de la capacidad de los tanques de peces (Carruthers, 2015).

6.3.3.1 Cama Fluidizada

Un lecho fluidizado es un lecho de arena que está suspendido por una corriente ascendente de agua. El lecho de arena tiene una superficie muy alta para apoyar el desarrollo de la biopelícula. Cada partícula de arena se suspende en la columna de agua, golpeando suavemente en los granos de arena adyacentes proporcionando un medio para la abrasión del biofloc excesivo. Diseñado por expertos, el lecho fluidizado es capaz de alcanzar los mayores índices de conversión volumétrica (cantidad de amoníaco convertida por unidad de medio). En los sistemas de crecimiento, un lecho fluidizado de arena gruesa es capaz de proporcionar una velocidad de nitrificación en el intervalo de 1 a 2 libras de ración de alimentación diaria por pie cúbico de arena (16 a 32 kg / m³ / día). Las camas de arena fina se distinguen por su capacidad para mantener niveles muy bajos de amoníaco y nitrito (<0,2 mg / L-N) (Losordo, 1999).

A largo plazo, los filtros de arena fluidizados han tenido una historia de fracasos notables mezclados con grandes éxitos basados en la habilidad del diseñador para adecuar adecuadamente el tamaño de la arena a la aplicación. El diseño hidráulico de los inyectores bajo lechos de arena más grandes se subestima con demasiada frecuencia, dando como resultado pilas de arena en una esquina y espacio vacío en el resto de un reactor. Estas preocupaciones han sido parcialmente tratadas por los diseños comerciales emergentes que giran la arena, y por el análisis detallado de ingeniería de estrategias de diseño de drenaje. (Losordo, 1999).

6.3.3.2 Filtros De Talón

Los filtros de talón forman la segunda clase de biofiltros. Estos filtros utilizan pequeñas bolas de plástico en una cama flotante para apoyar el crecimiento bacteriano. Esta clase de filtros puede dividirse en dos subclases. En primer lugar, se utiliza el lecho flotante en un modo estático que está sujeto a un retrolavado intermitente. Estos filtros están diseñados para actuar como bioclarificadores realizando simultáneamente la captura de sólidos y la función de biofiltración. El segundo emplea cuentas flotantes que se mueven continuamente. Estos filtros están diseñados para proporcionar biofiltración, aunque algunos hacen contribuciones a la aclaración en sistemas RAS (Losordo, 1999).

Bioclarificadores de cuentas flotantes: Los bioclarificadores de cuentas flotantes deben lavarse intermitentemente por medios hidráulicos, neumáticos o mecánicos. El lavado hidráulico se considera demasiado suave para el lavado intermitente, por lo que la mayoría de los bioclarificadores se lavan mediante inyección de aire o hélice. Estas unidades utilizan bolas de polietileno con un diámetro de aproximadamente 1/8 de pulgada o 3 milímetros. Las unidades con perlas de forma modificada y sujetas a un lavado de alta frecuencia optimizado son capaces de soportar aproximadamente el mismo nivel de nitrificación que un lecho fluidizado (1 a 2 libras por pie cúbico por día o 16 a 32 kg / M³ / día). Sin embargo, los bioclarificadores de bolas flotantes rara vez se utilizan como biofiltros, su adopción normalmente depende de su uso concurrente como clarificadores, de lo contrario, los biofiltros puros son más rentables (Losordo, 1999).

Biofiltros dinámicos de perlas flotantes: Los filtros dinámicos de perlas usan generalmente perlas de polietileno en forma de 1/8 pulgadas o perlas de estireno de 3/64 pulgadas (1 mm). Las perlas de Te se mueven constantemente, aunque a veces a una velocidad muy lenta, ya sea por circulación hidráulica o por aire inducido. Las velocidades de nitrificación máximas son comparables con el lecho fluidizado que refleja la alta superficie de los medios pequeños. En particular, los sistemas basados en perlas de estireno son relativamente baratos de fabricar, pero estos sistemas tienen una tendencia inherente a biofoul así que la atención al diseño hidráulico es crítica. El tamaño para estas unidades puede ser tan alto como

un lecho fluidizado (1 a 2 libras por pie cúbico por día o 16 a 32 kg / m³ / día) (Losordo, 1999).

6.3.3.3 Reactores De Lecho Móvil (MBR)

Reactores de cama móvil (MBR) utilizan medios de plástico grandes (de ¼ a ½ pulgadas o 6 a 13 mm) y están específicamente fabricados para proporcionar superficies protegidas para bacterias de película fija. El medio se coloca en un tanque que está constantemente aireado. Estos filtros tienen un diseño robusto y son relativamente fáciles de diseñar y operar. Una cantidad significativa de aire debe ser inyectado en el lecho para mantenerlo en movimiento, por lo tanto, los MBR pueden hacer contribuciones significativas a las necesidades de aireación y desgasificación del RAS. La capacidad de nitrificación de estos filtros tiende a ser sólo ¼ a ½ de los lechos fluidizados, con filtros dimensionados para soportar alrededor de 0,5 a 1 libra de ración de pienso por pie cúbico de medio (8 a 16 kg / m³ / día). El bajo costo de construcción y la simplicidad de operación compensan la menor tasa de conversión, haciendo que este diseño de biofiltros sea popular para todos los tamaños de operación (Losordo, 1999).

6.4 Componente Hidropónico

Existen varios diseños de sistemas para recirculación de sistemas acuapónicos. Los diseños se basan en sistemas hidropónicos, la diferencia es que la fuente de agua para el sistema acuapónico proviene del tanque de peces y es finalmente devuelto a su fuente de origen (Connolly, 2010).

6.4.1 Sistema Con Sustrato (FIGURA 6)

El componente hidropónico se distingue primero por si emplea un sustrato o no. Esto se hace muy importante en los sistemas acuapónicos porque la presencia de un sustrato en el que se cultivan las raíces de las plantas puede eliminar la necesidad de un tanque de sedimentación separado y un biofiltro. Los lodos y sólidos del tanque de peces quedan atrapados en los sustratos y son procesados por comunidades bacterianas que se desarrollan en el medio, actuando así como un biofiltro y eliminando la necesidad de eliminar los sólidos en un sistema separado (Rakocy et al., 2006).

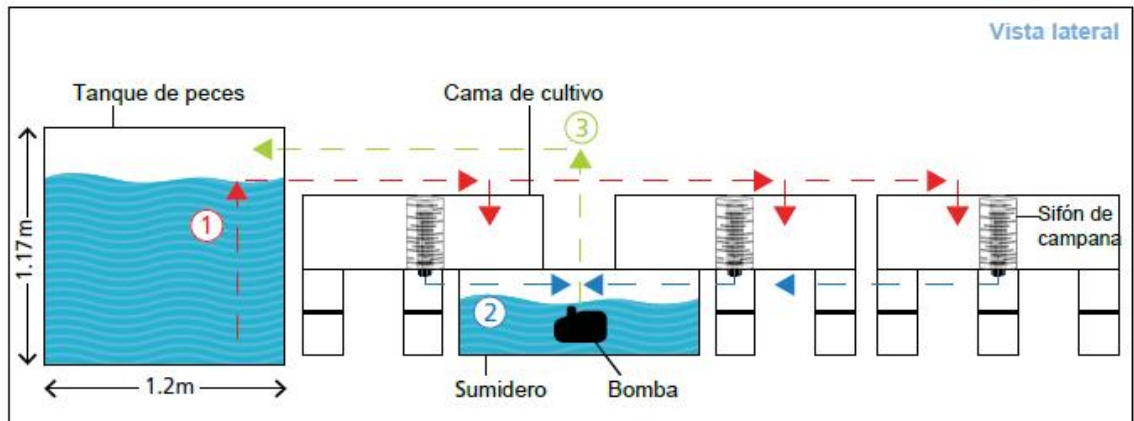
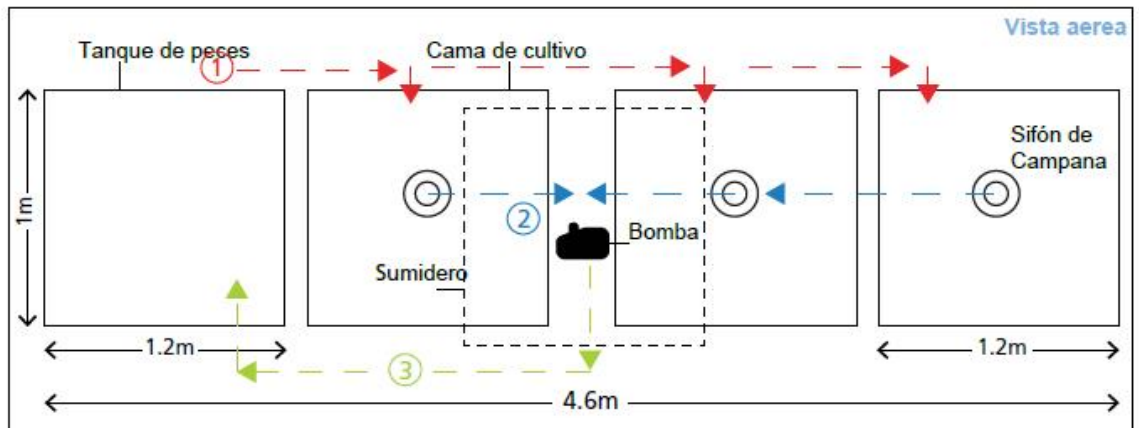


Diagrama flujo del agua

- ① El agua fluye por gravedad del tanque de peces a las cama de cultivo.
- ② El agua fluye de las camas de cultivo al sumidero.
- ③ El agua fluye de la sifón de campana al tanque de peces.

Figura 6 Diagrama de un sistema acuapónico de sustrato (Carruthers, 2015)

6.4.2 Inundación Y Drenaje (Ebb And Flow) (FIGURA 7)

En los sistemas de inundación y drenaje, las raíces de las plantas se exponen a una solución de nutrientes estáticos durante horas antes de que se drene la solución, lo que puede ocurrir varias veces al día. La técnica puede ser utilizada independientemente de si se usa un medio en el sistema, y las raíces de las plantas podrían estar completamente sumergidas o parcialmente sumergidas, dejando una porción expuesta a la atmósfera. Los sistemas de inundación y drenaje se caracterizan por su simplicidad, fiabilidad y facilidad de uso (Connolly, 2010).

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 (Caló, 2011).

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.

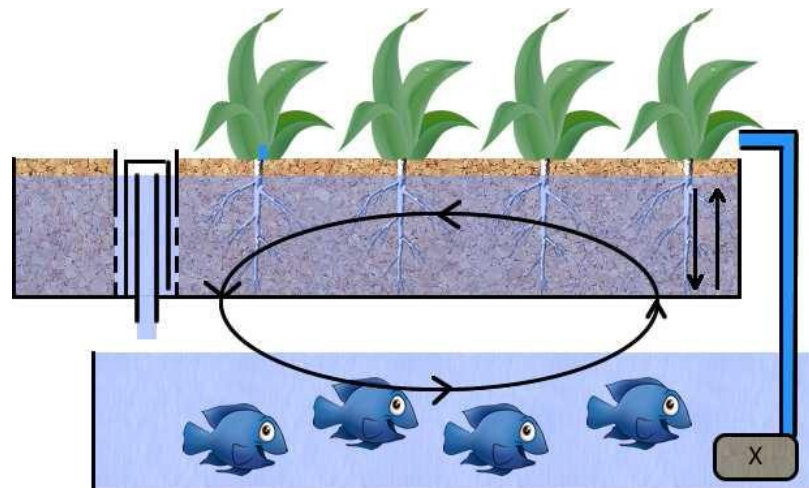


Figura 7 Sistema acuapónico con sistema Ebb & Glow (Caló, 2011)

6.4.3 Técnica Película De Nutrientes (NFT) (FIGURA 8)

La técnica de la película de nutrientes consiste en que las raíces de las plantas están expuestas a una fina capa de agua con nutriente que corre a través de una tubería de PVC. La idea es que el flujo superficial de agua sólo llega al fondo de la gruesa capa de raíces que se desarrolla en el canal, mientras que la parte superior de la masa de la raíz se expone al aire, recibiendo así un suministro de oxígeno adecuado. La pendiente del canal, la longitud y el caudal deben calcularse para asegurar que las plantas reciban suficiente agua, oxígeno y nutrientes. Si se construye correctamente, NFT puede mantener densidades de plantas muy altas(Connolly, 2010).

En los sistemas acuapónicos de NFT, el biofiltro se convierte en un elemento crucial ya que no hay una gran superficie por lo que las comunidades de bacterias se puedan desarrollar.

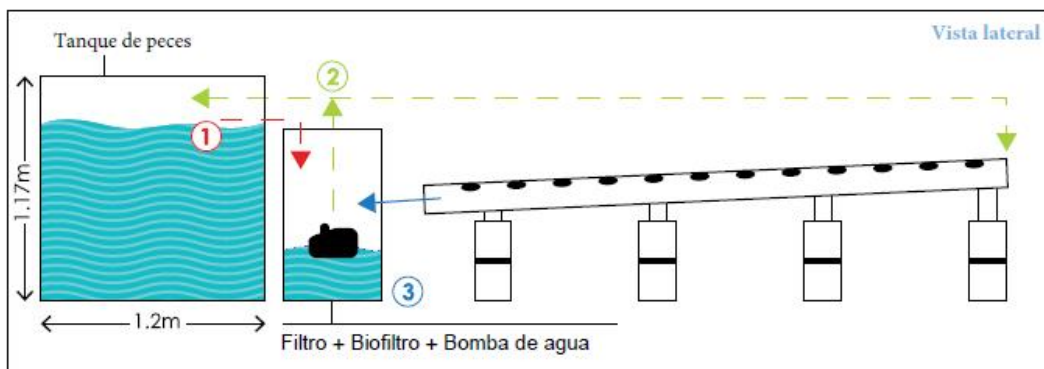
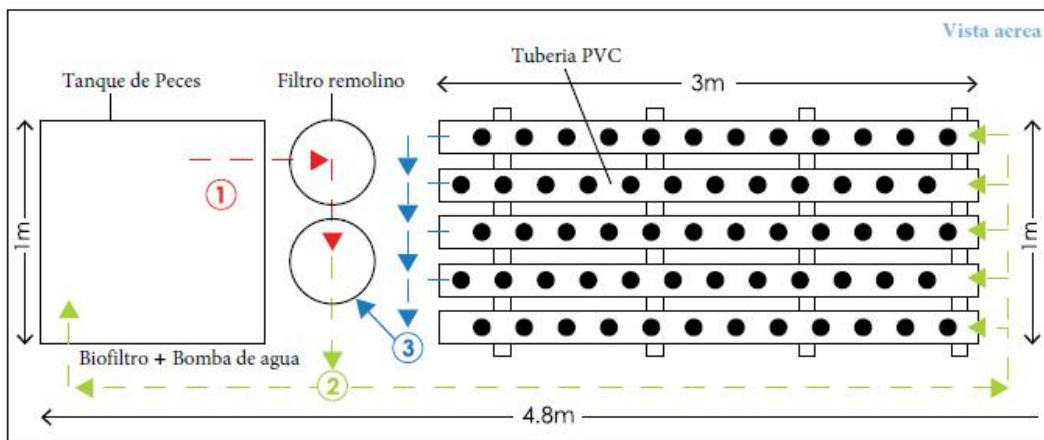
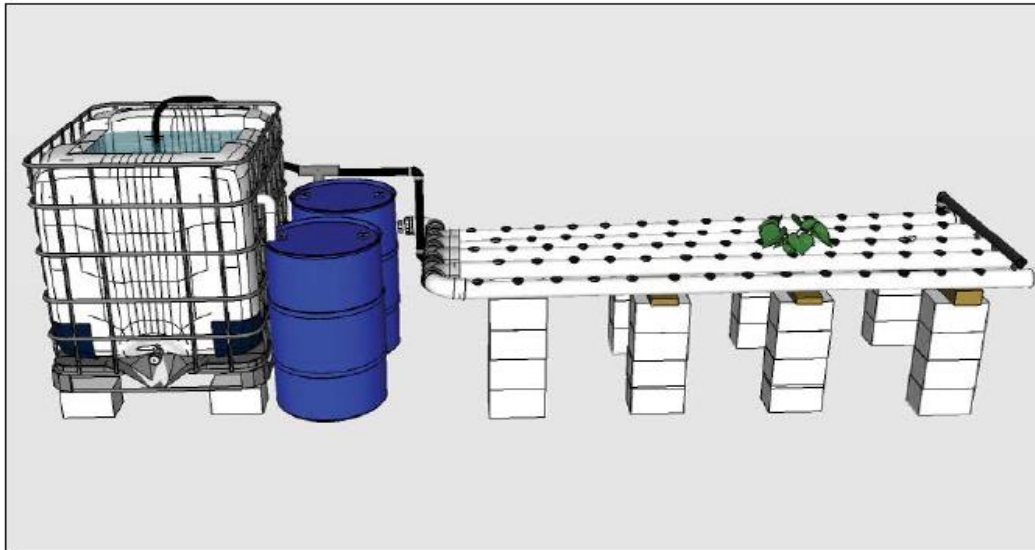


Diagrama del flujo de agua

- ① El agua fluye por gravedad desde el tanque de peces hacia el filtro y biofiltro.
- ② El agua es bombeada, usando una bomba sumergible, desde el biofiltro al tanque de peces (80% del flujo) y los tubos de pvc (20% del flujo).
- ③ El agua fluye de regreso de los tubos de pvc al biofiltro.

Figura 8 Diagrama de un sistema acuapónico NFT (Carruthers, 2015)

6.4.4 Sistema De Raíz Flotante (DWC)

Otro sistema que tiene un gran potencial para uso comercial es el sistema de raíz flotante. En este sistema las plantas se cultivan en balsas flotantes de poliestireno (Figura 9). Estas balsas tienen pequeños agujeros en los que las plantas se colocan en macetas. En este sistema las raíces cuelgan libres en el agua donde la absorción de nutrientes ocurre. Una diferencia importante entre los sistemas de balsas y el NFT y los sistemas basados en medios es la cantidad de agua utilizada (Connolly, 2010).

El nivel de agua debajo de las balsas es de 20 a 40 cm de profundidad y como resultado el volumen de agua es aproximadamente cuatro veces mayor que otros sistemas. Este mayor volumen de agua resulta en concentraciones de nutrientes más bajas y como resultado se usan relaciones de velocidad de alimentación más altas. Las bacterias se forman en la superficie inferior de las balsas, pero generalmente se necesita un biofiltro separado. Además, las raíces de las plantas están expuestas a algunos organismos nocivos que residen en el agua, lo que puede afectar el crecimiento de las plantas (Connolly, 2010).



Figura 9 Sistema semi-comercial de raíz flotante en la UVI (Carruthers, 2015)

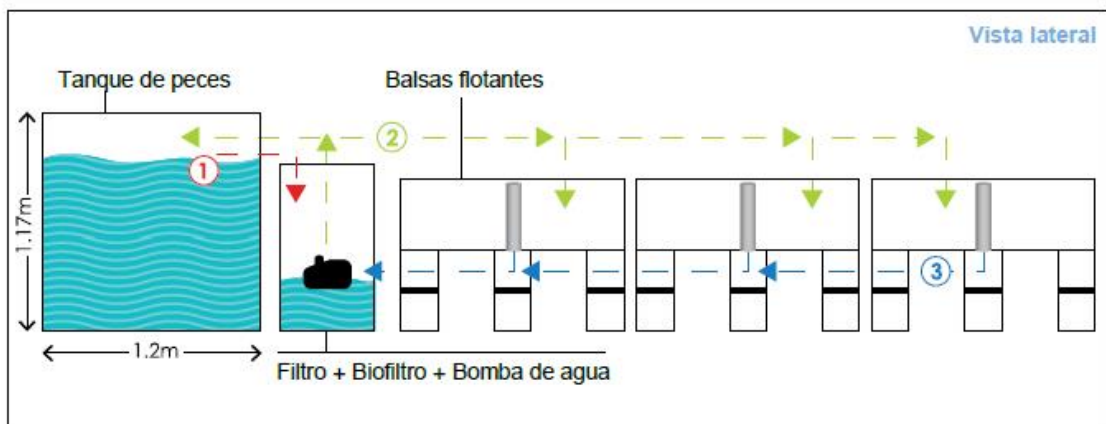
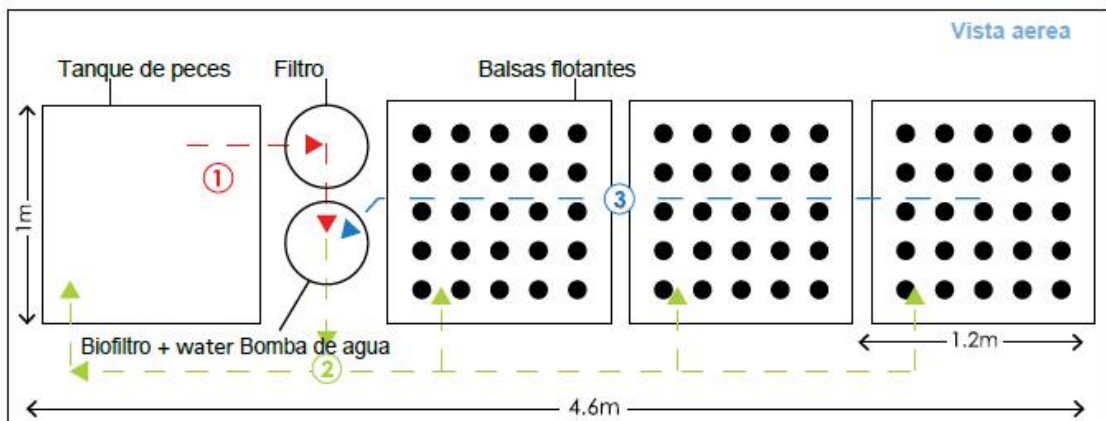
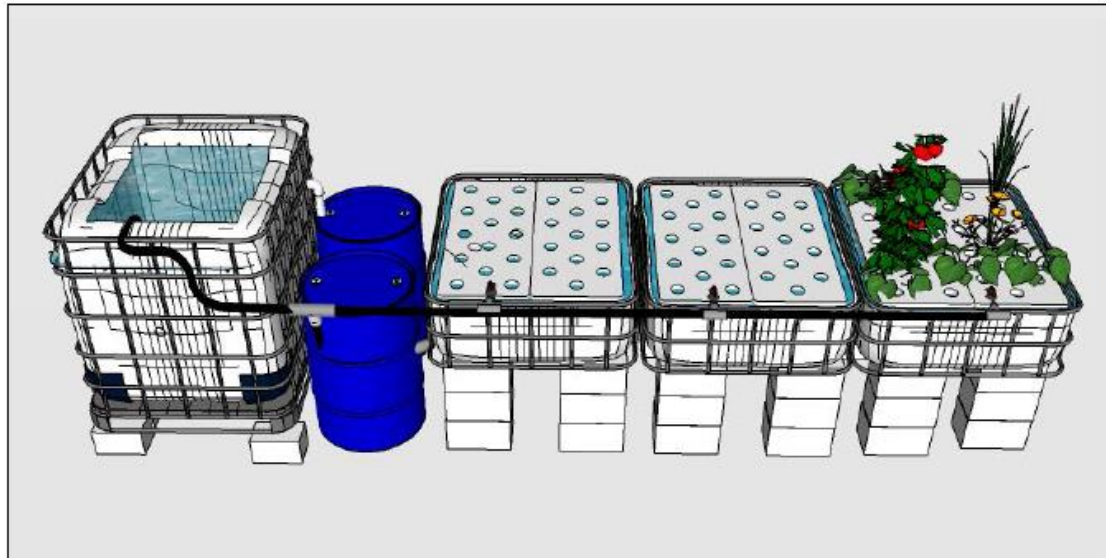


Diagrama flujo del agua

- ① El agua fluye por gravedad del tanque de peces hacia el filtro y el biofiltro.
- ② El agua es bombeada, por una bomba sumergible, desde el biofiltro hacia el tanque de peces (80% del flujo) y hacia la cama de cultivo (DWC) (20% del flujo)
- ③ El agua fluye de regreso de las camas de cultivo al biofiltro.

Figura 10 Diagrama de un sistema acuapónico DWC (Carruthers, 2015)

6.5 Bombeo

El movimiento del agua es fundamental para mantener vivos a todos los organismos dentro del sistema acuapónico. El agua que fluye se mueve de los tanques de peces, a través del separador mecánico y el biofiltro y finalmente a las plantas en el sistema hidropónico, para la eliminación de los nutrientes disueltos (Carruthers, 2015).

Si el movimiento del agua se detiene, el efecto más inmediato será la reducción del OD y la acumulación de desechos en el tanque de peces; Sin el filtro mecánico y el biofiltro, los peces pueden sufrir y morir en pocas horas. Sin el flujo de agua, el agua en las camas de medios o las unidades DWC se estancarán y se volverán anóxicas, y los sistemas NFT se secarán. Una pauta comúnmente citada para los sistemas acuapónicos densamente poblados es el ciclo del agua dos veces por hora. Por ejemplo, si una unidad acuapónica tiene un volumen de agua total de 1 000 litros, el caudal de agua debe ser de 2 000 litros / h, de manera que cada hora el agua se cicla dos veces. Sin embargo, a bajas densidades de población esta tasa de rotación es innecesaria, y el agua sólo necesita ser ciclada una vez por hora (Carruthers, 2015).

Más comúnmente, una bomba de agua sumergible se utiliza como el corazón de un sistema acuapónico, y este tipo de bomba se recomienda. Las bombas externas se podrían utilizar, pero requieren la plomería adicional y son más apropiadas para los diseños más grandes. Las bombas de agua de alta calidad deben usarse preferentemente para garantizar una larga vida útil y eficiencia energética. Una aproximación útil para calcular la eficiencia energética de las bombas sumergibles es que una bomba puede mover 40 litros de agua por hora por cada vatio por hora consumida, aunque algunos modelos reclaman el doble de esta eficiencia. Al diseñar la tubería para la bomba, es importante darse cuenta de que la potencia de bombeo se reduce en cada unión de tubería; Hasta 5 por ciento del caudal total se puede perder en cada conexión de tubería cuando se fuerza el agua. Por lo tanto, se recomienda utilizar un número mínimo de conexiones entre la bomba y los tanques de peces. También es importante tener en cuenta que cuanto menor sea el diámetro de las tuberías, mayor será la pérdida de flujo de agua.

Cuando instale una unidad acuapónica, asegúrese de colocar la bomba sumergible en un lugar accesible porque es necesaria una limpieza periódica. De hecho, el filtro interno necesitará limpieza cada 2-3 semanas.

6.6 Aireación

En los sistemas acuapónicos, el oxígeno disuelto es típicamente el primer parámetro limitante para los peces. El oxígeno disuelto se proporciona por aireación. Sin aireación, los niveles de oxígeno disuelto bajarían rápidamente a niveles que podrían matar a los peces (Lennard, 2012b).

Las bombas de aire inyectan aire en el agua a través de tuberías de aire y piedras de aire que se encuentran dentro de los tanques de agua, aumentando así los niveles de OD en el agua. El OD adicional es un componente vital de las unidades NFT y DWC. Las piedras del aire se localizan en el extremo de la línea de aire, y sirven para difundir el aire en burbujas más pequeñas. Las pequeñas burbujas tienen más área superficial, y por lo tanto liberan el oxígeno en el agua mejor que las burbujas grandes; Esto hace que el sistema de aireación sea más eficiente y contribuya a ahorrar costes. Se recomienda utilizar piedras de calidad para obtener las burbujas de aire más pequeñas. Se producirá el ensuciamiento biológico y las piedras de aire se limpiarán regularmente con una solución de cloro para eliminar los depósitos bacterianos y, si es necesario, con un ácido muy suave para eliminar la mineralización o reemplazarla cuando el flujo de burbujas sea inconsistente. Si es posible, es preferible utilizar una combinación de bomba de aire AC / DC en caso de escasez de electricidad, porque cuando se desconectan de la corriente alterna durante una interrupción, las baterías cargadas pueden seguir funcionando (Carruthers, 2015).

VII. Cálculos y Relaciones de Componentes

Uno de los factores más importantes en el diseño de sistemas acuapónicos es saber cómo dimensionar los dos componentes principales del sistema acuapónico; El componente acuícola (peces) y el componente hidropónico (plantas).

Los sistemas acuapónicos deben ser equilibrados. Los peces (y por lo tanto, los piensos para peces) necesitan suministrar nutrientes adecuados para las plantas; Las plantas se necesitan para filtrar el agua para los peces. El biofiltro necesita ser lo suficientemente grande como para procesar todos los desechos de los peces, y se necesita suficiente volumen de agua para hacer circular este sistema (Carruthers, 2015).

Por lo tanto, es evidente que si se quiere alcanzar algún equilibrio, es un equilibrio entre la cantidad de desechos de pescado producidos y la cantidad de ese residuo que las plantas utilizarán o absorberán como su fuente de nutrientes. La cantidad de desechos que los peces producen está directamente relacionada con la cantidad de alimento que consume (Lennard, 2012a).

Este equilibrio puede ser difícil de conseguir en un nuevo sistema, pero esta sección proporciona cálculos útiles para estimar los tamaños de cada uno de los componentes. Los pasos que se recomiendan para diseñar el sistema acuapónico será:

1. Determinar cuántas plantas, y de qué especies, deseamos crecer (por ejemplo: 30 plantas de lechuga).
2. Determinar el área que las plantas necesitan para crecer (por ejemplo: 1 metro cuadrado - porque la densidad máxima para la lechuga es de 30 plantas por metro cuadrado).
3. Determinar la cantidad de alimento de peces que los peces necesitan comer para satisfacer los requerimientos de nutrientes de las plantas (esto se relaciona con la proporción de la tasa de alimentación).

4. Determinar la biomasa de peces necesarios para consumir esa cantidad de alimento para peces.

5. Determinar qué volumen de agua que necesita la cantidad de peces para vivir felizmente en el sistema.

7.1 Área de Cultivo de la Planta, Cantidad de Alimento para Peces y Cantidad de Peces

La forma más exitosa de equilibrar un sistema acuapónico es usar la relación de velocidad de alimentación. Esta proporción es el cálculo más importante para la acuaponía, para que los peces y las plantas puedan prosperar simbióticamente dentro del ecosistema acuapónico (Carruthers, 2015).

La proporción estima la cantidad de alimento para peces que se debe agregar cada día al sistema, y se calcula sobre la base del área disponible para el crecimiento de la planta. Esta proporción depende del tipo de planta que se cultiva (Tabla 4); Los vegetales fructíferos requieren alrededor de un tercio más de nutrientes que los vegetales de hoja verde para apoyar el desarrollo de flores y frutos. El tipo de alimentación también influye en la proporción de la velocidad de alimentación, y todos los cálculos aquí proporcionados suponen un alimento para peces estándar de la industria con un 32 por ciento de proteína (Carruthers, 2015).

Tabla 4 Proporción Alimento:Área de cultivo (Carruthers, 2015)

Vegetales de hoja verde	Vegetales de fruto
40-50 g de alimento por m ² por día.	50-80 g de alimento por m ² por día.

El primer paso recomendado en el cálculo es determinar cuántas plantas se desean. En promedio, las plantas pueden ser cultivadas a la densidad de siembra que se muestra a continuación (Tabla 5). Estas cifras son sólo promedios, y existen muchas variables dependiendo del tipo de planta y el tamaño de la cosecha, y por lo tanto sólo deben usarse como directrices (Carruthers, 2015).

Tabla 5 Relación Área:Número de plantas (Carruthers, 2015)

Plantas de hoja verde	Vegetales de fruto
20 – 25 plantas por m ²	4-8 plantas por metro cuadrado

Una vez que se ha elegido el número deseado de plantas, entonces es posible determinar la cantidad de área de cultivo necesaria y, por consiguiente, se puede determinar la cantidad de alimento para peces que se debe añadir al sistema todos los días.

Ya que hemos calculado las cantidades de la superficie de cultivo y la alimentación de los peces, es posible determinar la biomasa de los peces necesarios para comer este alimento de peces. Los peces de diferentes tamaños tienen diferentes requerimientos y regímenes de alimentación, esto significa que muchos peces pequeños comen tanto como algunos peces grandes. En términos de equilibrio de una unidad acuapónica, el número real de peces no es tan importante como la biomasa total de peces en el tanque. En promedio, el pez consumirá 1-2 por ciento de su peso corporal por día durante la etapa de crecimiento (Tabla 6). Esto supone que los peces son mayores de 50 g porque los peces pequeños comen más que los grandes, como porcentaje del peso corporal (Carruthers, 2015).

Tabla 6 Tasa alimentación de peces (Carruthers, 2015)

Tasa alimentación de peces
1 – 2% peso vivo por día

Aunque extremadamente útil, esta relación de alimentación es realmente sólo una guía, en particular para las unidades de pequeña escala. Hay muchas variables implicadas en esta relación, incluyendo el tamaño y el tipo de peces, la temperatura del agua, el contenido de proteínas de la alimentación y las demandas de nutrientes de las plantas, que pueden cambiar significativamente durante una temporada de crecimiento. Estos cambios pueden requerir que el agricultor ajuste la velocidad de alimentación.

Probando el agua para el nitrógeno ayuda a determinar si el sistema permanece en equilibrio. Si los niveles de nitratos son demasiado bajos (menos de 5 mg/l), se debe aumentar lentamente la velocidad de alimentación por día sin sobrealimentar al pescado. Si los niveles de nitrato son estables, entonces puede haber deficiencias en otros nutrientes y puede ser necesaria la suplementación, especialmente para el calcio, el potasio y el hierro. Si los niveles de nitrato están aumentando, entonces los intercambios de agua ocasionales serán necesarios como el nitrato se eleva por encima de 150 mg / litro. El aumento de los niveles de nitratos sugiere que la concentración de otros nutrientes esenciales es adecuada.

7.3 Volumen de agua

El volumen de agua es otro aspecto importante para el componente acuícola dentro del sistema. Diferentes densidades de población afectan el crecimiento y la salud de los peces, y son una de las causas más comunes del estrés de los peces. Sin embargo, el volumen total de agua no afecta al componente hidropónico, excepto que con grandes volúmenes de agua toma más tiempo para que el agua acumule una concentración sustancial de nutrientes durante el ciclo inicial. Por lo tanto, si una unidad tiene un volumen de agua relativamente grande, el único impacto es que tardaría más tiempo en alcanzar las concentraciones óptimas de nutrientes para las plantas. Grandes volúmenes de agua ayudan a mitigar los cambios en la calidad del agua, pero pueden enmascarar los problemas por más tiempo. El método DWC siempre tiene un volumen de agua total mayor que el NFT o las camas de sustrato. La densidad máxima recomendada es de 20 kg de pescado para 1 000 litros de agua (tanque de peces). Las mayores densidades de población requieren técnicas de aireación más sofisticadas para mantener los niveles de OD estables para los peces, así como un sistema de filtración más complejo para manejar los desechos sólidos. Se recomienda encarecidamente a los nuevos agricultores acuapónicos que no excedan la densidad de carga de 20 kg por 1 000 litros (Carruthers, 2015). Esto es particularmente cierto cuando no se garantiza un suministro constante de electricidad, ya que una breve interrupción puede matar a todos los peces en una hora a altas densidades de población.

Esta misma densidad de población se aplica para cualquier tanque de tamaño superior a 500 litros; Simplemente use esta proporción para calcular la carga máxima para el volumen de agua dado. Si el tanque es inferior a 500 litros, reduzca la densidad de carga a la mitad, o 1 kg por 100 litros, aunque no se recomienda cultivar pescado para el consumo en un tanque de menos de 500 litros. Como referencia, una tilapia promedio pesa 500 g al tamaño de la cosecha y 50 g al tamaño de la población.

7.4 Requisitos de filtración - biofiltro y separador mecánico

La cantidad de biofiltración necesaria en acuapónica se determina por la cantidad de alimento que entra en el sistema diariamente. La consideración principal es el tipo de material del biofiltro y la superficie de ese medio. Cuanto mayor sea la superficie, mayor será la colonia bacteriana que se puede alojar y el amoníaco más rápido se convierte en nitrato (Carruthers, 2015).

Se proporcionan dos proporciones, una para la grava volcánica encontrada en los lechos de los medios y otra para las Bioballs® encontradas en las unidades NFT y DWC. Este cálculo debe considerarse como mínimo y el exceso de biofiltración no daña el sistema, sino que hace que el sistema sea más resistente contra los picos de amoníaco y nitrito. Los biofiltros deben estar sobredimensionados si se sospecha que las bajas temperaturas pueden afectar la actividad bacteriana.

El separador mecánico debe dimensionarse según el volumen de agua. Generalmente, el separador mecánico debe tener un volumen del 10-30 por ciento del tamaño del tanque de peces. Los filtros mecánicos son necesarios para los sistemas NFT y DWC, así como para los sistemas de sustrato con altas densidades de siembra (> 20 kg / 1000 litros) (Carruthers, 2015).

VIII. Conclusiones

La acuaponía se presenta como una alternativa a los sistemas de producción convencionales, gracias a su capacidad de producir dos productos comerciales como lo son el pescado y las hortalizas usando la misma infraestructura; Además, de la posibilidad de hacerlo en zonas desérticas, urbanas y periurbanas sin necesidad de suelo arable; y por consiguiente cerca de las áreas de consumo.

También su uso en sistemas de traspatio se ve beneficiado por el uso eficiente de los recursos y su eficiencia tanto energética como de espacio, permitiendo a las familias obtener alimentos de calidad, promoviendo así, una mejor nutrición dentro del núcleo familiar.

Dentro de las oportunidades de investigación, destacan los pocos trabajos que se han hecho sobre este tema y la falta de probar estos sistemas acuapónicos a las condiciones de campo presentes en nuestro país; Además, es evidente el desconocimiento de estos sistemas integrados por parte de las dependencias gubernamentales y por lo tanto la falta de difusión de estos sistemas en sus programas de extencionismo.

IX. Bibliografía

- Alvarez Torres, P. (1999). *Desarrollo de la acuacultura en Mexico y perspectivas de la acuacultura rural*.
- Bakiu, R., & Shehu, J. (2014). Aquaponic systems as excellent agricultural research instruments in Albania. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, 385.
- Bender, J. (1984). An integrated system of aquaculture, vegetable production and solar heating in an urban environment. *Aquacultural Engineering*, III(2), 141-152.
- Bijo, P. A., Thorarensen, H., Johannsson, R., & Jensson, P. (2007). Feasibility study of a recirculation aquaculture system.
- Boutwell, J. (2007). Aztecs' aquaponics revamped. Napa Valley Register.
- Burgoon, P. S., Baum, C. (1984). *Year-round fish and vegetable production in a passive solar greenhouse*. Paper presented at the Sixth international congress on soilless culture, Lunteren, Holanda.
- Caló, P. (2011). Introducción a la acuaponía. *Centro Nacional de Desarrollo acuícola (CENADAC). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina*.
- Carruthers, S. (2015). Small-scale aquaponic food production.
- Clarkson, R., Lane, S. D. (1991). Use of small-scale nutrient film hydroponic technique to reduce mineral accumulation in aquarium water. *Aquaculture and fisheries management*, XXII, 37-45.
- Connolly, K. T., T. (2010). Optimization of a backyard aquaponic. *BREE 495, Design 3, Bioresource Engineering, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences – McGill University*.
- Costa-Pierce, B. A. (1998). Preliminary investigation of an integrated aquaculture-wetland ecosystem using tertiary-treated municipal wastewater in Los Angeles Country, California.
- Diver, S. (2006a). *Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture: Attra*.
- Diver, S. (2006b). *Aquaponics – Integration of Hydroponics with Aquaculture ATTRA - National Sustainable Agriculture Information Service*.

- Duning, R. D., Losordo, Thomas M and Hobbs, Alex O. (2012). *A Spreadsheet Tool for the Economic Analysis of a Recirculation Tank System*: Southern Regional Aquaculture Center.
- Gómez M., F. C., Ortega L., N. E., & Trejo T., L. I. (2015). La acuaponía: Alternativa sustentable y potencial para producción de alimentos en México. *Agroporoductividad.*, 8(3), 60-65.
- Goodman, E. R. (2011). *Aquaponics: community and economic development*. Massachusetts Institute of Technology.
- Graber, A. R. J. (2009). Aquaponic systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 147-156.
- Guterstam, B. (1996). Demonstrating ecological engineering for wastewater treatment in a Nordic climate using aquaculture principles in a greenhouse mesocosm. *Ecological Engineerign*, VI, 73-97.
- Harmon, T. S. (2005). The role of aquaponics in RAS. *International Journal of Recirculating Aquaculture*, VI, 19-27.
- Hochheimer, J. N., & Wheaton, F. (1998). *Biological filters: trickling and RBC design*. Paper presented at the Proceedings of the Second International Conference on Recirculating Aquaculture, Roanoke, VA.
- Hughey, T. (2005). Aquaponics for developing countries. *Aquaponics Journal*, 16-18.
- Iturbide D, K. (2008). *Caracterizacion de los efluentes de dos sistemas de produccion de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediacion*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Jones, S. (2002). Evolution of aquaponics. *Aquaponics Journal*, VI(1).
- Lennard, W. (2012a). Aquaponic system design parameters: Fish to plant ratios. from <http://www.aquaponic.com.au/Fish%20to%20plant%20ratios.pdf>
- Lennard, W. (2012b). Aquaponic system design parameters: Solid filtration, treatment and re-use. from www.aquaponic.com.au/Solids%20filtration.pdf
- 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(1), 92-99. doi: 10.1577/1548-8659(1978)107<92:uohtmq>2.0.co;2
- Losordo, T. (1999). *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: A Review of Component Options*: Southern Regional Aquaculture Center.
- Mary-Lou, C. (2007). Plant crops to clean up aquaculture waste. *ECOS*, 34-34.
- Masser, M. P., Rakocy, J., & Losordo, T. M. (1999). Recirculating aquaculture tank production systems. *Management of recirculating systems. SRAC Publication*, 452.
- McLarney, W. (1972). Irrigation of garden vegetables with fertile fish pond water. *New Alchemy Agricultural Research Report*(2).
- McMurty, M. R., Sanders, D.C., Nelson, P.V. (1993). Mineral nutrient concentration and uptake by tomato irrigated with recirculating aquaculture water as influenced by quantity of fish waste products supplied. *Journal of Plant Nutrition*, XVI(3), 407-409.
- Naegel, L. C. A. (1977). "Combined production of fish and plants in. *Aquaculture*, X(1), 17-24.
- Nelson, R. L., & Pade, J. S. (2008). *Aquaponic Food Production: Growing Fish and Vegetables for Food and Profit*. Nelson and Pade, Incorporated.
- Pade, J. S. a. N., R.L. (2007). Village aquaponics. *Acta Hort. (ISHS)*, 197-199.
- Quevedo, G. (2008). *Remoción de nutrientes en un sistema experimental silvopescuero (manglar-ictiofauna) con/sin fuentes alóctonas de C, N y P*. (Tesis de maestría.), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rakocy, J. E. (1989). Hydroponic lettuce production in a recirculating fish culture system. *Univ. Virgin Island Agric. Esp. Station, Island perspectives* 3, 4-20.
- Rakocy, J. E. (1999). 1999. *Aquaculture Magazine*, 25, 83-88.
- Rakocy, J. E., Hargreaves, J. A., & Bailey, D. S. (1989). Effects of hydroponic vegetable production on water quality in a closed recirculating system. *J. World aquat. Soc.*, XX(1), 64A.
- Rakocy, J. E., Hargreaves, J. A., & Bailey, D. S. (1993). Nutrient accumulation in a recirculating aquaculture system integrated with hydroponic vegetable production. *Techniques for modern aquaculture*.

- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics—integrating fish and plant culture. *SRAC publication, 454*, 1-16.
- Rakocy, J. E., & Nair, A. (1987). Integrating fish culture and vegetable hydroponics: Problems and prospects. *Virgin Islands Perspect.*, 19-23.
- Ramirez Ballesteros, M. (2013). *Evaluación del crecimiento de tilapia, acocil y lechuga en un sistema de recirculación acuaponico en condiciones de laboratorio.* (Biologa), Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- Ramos, C. (2006). Aquaponics Guadalajara. *Aquaponics Journal.*, 40, 12-13.
- Range, P., & Range, B. (2005). Aquaponics helps to feed students, staff at orphanage in Reynosa, Mexico. *Aquaponics Journal.*, 39, 18-19.
- Rennert, B. a. M. D. (1989). The possibility of combined fish and vegetable production in greenhouses. *Advanced Fish Science*, 19-27.
- Sánchez, J. (2008). *Caracterización del flujo de masa de un sistema cerrado, para el aprovechamiento de sus efluentes en hidroponía.* (Tesis de Maestria), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada., Baja California, México.
- Sanders, D., McMurty, M. R. (1988). Fish increase greenhouse profits. *American Vegetable Grower*, 32-33.
- Sfetcu, L., Cristea, V., & Oprea, L. (2008). Nutrients dynamic in an aquaponic recirculating system for sturgeon and lettuce (*Lactuca sativa*) production. *Lucrări Științifice - Zootehnie și Biotehnologii, Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară a Banatului Timișoara, XVI(2)*, 137-143.
- Sneed, K. (1975). Fish farming and hydroponics". *Aqua-culture and the Fish Farmer, II(1)*, 18-20.
- Spade, J. S. (2009). Village Aquaponics. *Aquaponics Journal.*
- Wardlow, G. W., Johnson, D. M., Mueller, C. L., Hilgendorg, C. E. (2002). Enhancing student interest in the agricultural sciences through aquaponics. *Journal of Natural Resources & Life Sciences Education*, 55-58.
- Wolfe, J., & Zweig, R. (1977). Summary of fish culture techniques in solar aquatic ponds. *Journal of the New Alchemist.*

Zuckerman, B. M., & M. Bess Dicklow, G. C. C., L Roberto. (1989). Suppression of plant parasitic nematodes in the chinampa agricultural soils. *Chemical Ecology*, XV(6).