



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS



INFORME DE TRABAJO FINAL DE CARRERA
TÉCNICO EN PRODUCCIÓN PESQUERA Y MARICULTURA

**HERRAMIENTAS BÁSICAS PARA EL MANEJO Y
DIMENSIONAMIENTO DE UN MODULO ACUAPONICO A
PEQUEÑA ESCALA**

Gabriela Alejandra Gonzalez

Docente tutor: Malvido Ángel

19 de noviembre del 2019

San Antonio Oeste, Río Negro, Argentina

INDICE	
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
DESARROLLO.....	2
1. RESEÑA HISTÓRICA.....	2
2. DEFINICIONES CLAVES.....	4
2.1 Acuaponia.....	4
2.2 Acuicultura.....	4
2.3 Hidroponía.....	5
2.4 Sistemas de recirculación acuícola: SRA.....	5
2.5 Filtros.....	6
2.5.1 Filtros mecánicos o clarificadores.....	6
2.5.2 Filtros biológicos o biofiltros.....	6
3. SISTEMA DE RECIRCULACION ACUICOLA, EN ACUAPONIA.....	7
3.1 Cultivo de peces.....	8
3.1.1 Parámetros que se debe controlar.....	9
3.1.1.1 Concentración de oxígeno disuelto en el agua.....	10
3.1.1.2. Concentración de compuestos nitrogenados disueltos en el agua.....	11
3.1.1.3. pH.....	11
3.1.1.4. Concentración de cloro disuelto en el agua.....	12
3.1.1.5. Temperatura.....	12
3.2. Filtro mecánico.....	12
3.3. Filtro biológico.....	13
3.3.1 Activación del Filtro Biológico.....	15
3.3.2. Controles de rutina.....	16
3.3.3 Tipos de Biofiltros.....	17
3.3.3.1 Lecho sumergido.....	17
3.3.3.2 Lecho emergido: filtros percoladores.....	19

3.4. Unidad hidropónica.....	19
3.4.1 Métodos de cultivo para vegetales.....	19
3.4.2 Los sistemas NFT (Nutrient Film Technique).....	20
3.4.3 El cultivo de raíz flotante o balsa.....	20
3.4.4 Sistema de lecho de sustrato.....	21
3.4.5 Densidad de cultivo vegetal.....	21
3.4.6 Rendimientos hidropónicos.....	21
3.5 Sumidero.....	22
4. <i>ONCORHYNCHUS MYKISS</i> (TRUCHA ARCOÍRIS): CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE	22
4.1 Cultivo de trucha arcoíris:.....	22
4.1.2 Alevines.....	24
4.1.3 Siembra de alevines (densidad de cultivo).....	25
4.2 Alimentación.....	25
4.3 La metodología de muestreo.....	28
4.4 Parámetros óptimos para cultivo de Trucha Arcoíris descritos por Maíz (2010):.....	29
5. DIMENSIONAMIENTO DE LOS 3 BLOQUES A ESCALA FAMILIAR.....	30
5.1 Bloque para peces.....	30
5.2 Bloque de filtro.....	32
5.3 Bloque para vegetales.....	33
6. ACUAPONIA EN LAS ESCUELAS.....	34
CONCLUSION.....	36
ANEXO I.....	37
ANEXO II.....	38
BIBLIOGRAFIA.....	48

INTRODUCCIÓN

La acuaponía es un sistema de cultivo que integra dos actividades: la hidroponía y la acuicultura; si bien es una práctica muy antigua, actualmente es viable revalorarla y desarrollarla como una práctica de economía familiar.

Teniendo en cuenta la escases de agua actual, los cultivos suelen ser un inconveniente y generan inmensas consecuencias ambientales, pero en la acuaponía la utilización de agua no es un obstáculo ya que esta técnica se encuentra montada en lo que se conoce como “sistema de recirculación acuícola” (SRA), en los cuales el consumo de agua es mínimo, convirtiéndose así en una actividad amigable con el medio ambiente. Los SRA presentan entre un 80 a 90% de ahorro de agua frente a los sistemas abiertos de cultivo, ya que esta se purifica de modo natural por la acción de bacterias nitrificadoras las cuales convierten los desechos tóxicos de los peces en nitrato que luego es utilizado por las plantas para nutrirse.

La implementación de esta actividad es relativamente nueva en nuestro país y actualmente se encuentra en auge su implementación por sus amplias ventajas. Entre ellas se destacan: el bajo costo de inversión por ej. debido a la utilización de materiales reciclados, la no implementación de compuestos químicos asimismo el cuidado del medio ambiente y la fomentación de una alimentación orgánica generando una economía circular y familiar, como alternativa al consumo de los alimentos ultra-procesados.

Para llevar adelante un cultivo acuaponico no son muchos los materiales y los conocimientos previos requeridos; por este motivo su implementación puede llevarse adelante desde una economía circular, como puede ser una vivienda, o un proyecto comunitario. Además este módulo se podría implementar en escuelas ya que posee un gran potencial como método de enseñanza y aprendizaje porque es un proceso que conlleva múltiples tareas concomitantes a varias áreas de estudio, por ej. Ciencias naturales y sociales. Al mismo tiempo que los alimentos producidos podrían ser facilitados a los alumnos que los requieran. Es por ello que esta práctica tiene un sinnúmero de múltiples beneficios tanto económicos como sociales y ecológicos.

El principal objetivo de este trabajo es brindar los conocimientos básicos necesarios para el desarrollo de un módulo acuaponico, detallando los parámetros que requieren mayor atención además de dimensionar un modelo a pequeña escala con 500 truchas arcoíris (*oncorhynchus mykiss*) y vegetales diversos.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Introducir en sociedad la utilización de módulos acuaponicos como complemento para la obtención de proteína animal y minerales vegetales, siendo una fuente completa de alimentos de alta calidad y origen orgánico.

Objetivos específicos

- Dimensionar un módulo acuaponico a pequeña escala utilizando vegetales variados y trucha arcoíris.
- Brindar las herramientas básicas que el sistema requiere para un cultivo sano y próspero.
- Estimular su implementación en hogares, refugios y escuelas.

DESARROLLO

1. RESEÑA HISTÓRICA

Si bien la implementación de la acuaponia tanto a escala experimental como comercial es relativamente moderna, el desarrollo de las dos actividades que la originaron, data de miles de años.

La acuicultura es una práctica muy antigua con referencias desde hace aproximadamente 4.000 años, en China, y de 3.500 años, en la Mesopotamia. De acuerdo a lo relatado por la FAO, la cría de peces también era practicada por los antiguos romanos de la época imperial, la cual, más tarde se convertiría en parte del sistema de producción alimentaria de los Monasterios Cristianos de Europa Central. Hoy en día se conservan los restos de un templo egipcio que representa un pre-cultivo de peces en un estanque artificial del año 2500 a.C.; En el 475 a.C. se escribe el primer tratado sobre el cultivo de carpa atribuido a Fan-Li, en China, el cual es conocido como el “primer tratado de piscicultura” (Peña 2017), desde ese entonces esta práctica se continua desarrollando, perfeccionando y expandiendo por todo el mundo.

En cuanto a la hidroponía, las primeras referencias se originan por la necesidad de producir alimentos en regiones sin tierra fértil para cultivar, pero con fuentes de agua suficiente, de modo tal que el concepto de la hidroponía es muy antiguo en poblaciones que han tenido condiciones difíciles de cultivo. Esta técnica es descrita en antiguos jeroglíficos egipcios en los cuales se hace mención de cultivos de plantas flotantes en las riveras del río Nilo (Soria, 2012). En los jardines de Babilonia existían cultivos colgantes que se alimentaba del agua que corría por medio de canales. También se cree que hace más de 1000 años, se practicaba la hidroponía de forma empírica en China, la India y Egipto. La chinampa mexicana es otra forma de aplicación de los principios hidropónicos. Los aztecas, cultivaban el maíz en barcasas por medio de un entramado de pajas. Los alemanes Sachs en 1860 y Knop en 1861, lograron aislar por completo

las plantas del suelo y las hicieron crecer por medio de una solución de elementos minerales, técnica conocida entonces como “nutricultura”. Entre 1929 y 1930, el Dr. William Gerike, logró un éxito sin precedentes al instalar unidades de cultivo sin tierra al aire libre con fines comerciales, el bautiza a esta técnica como hidroponía y es considerado el padre de esta moderna técnica de cultivo (Guzmán, 2004).

Si bien la acuaponía es relativamente moderna, el concepto de utilizar heces de peces como fertilizantes para plantas, es tan viejo como las primeras civilizaciones de Asia y Sudamérica, cuyos individuos ya aplicaban métodos basados en estos principios, según los registros históricos existentes. Se han hallado documentos escritos del primer y segundo siglo A.C. los cuales relatan la integración del cultivo de plantas acuáticas y peces. Desde el siglo IX constata la existencia del cultivo de peces en arrozales, además de la rotación de los cultivos de peces y gramíneas desde los siglos XIV al XVI (Yang et al., 2003). Los aztecas practicaron una forma inicial de acuaponía, mediante la crianza de peces junto a las cosechas; construían islas artificiales conocidas como “chinampas” en pantanos y lagos someros, plantaba maíz, zapallo, entre otras. Los canales navegables que rodeaban estas islas eran utilizados para la crianza de peces, sus heces caían al fondo de los mismo y eran recuperados para fertilizar a las plantas (Salinas, 2009). En los años 70’, comenzaron a realizarse los primeros experimentos de acuaponía en Norteamérica y Europa, donde se demostró que los desechos metabólicos que los peces generaban podían ser retirados y utilizados para el cultivo de plantas, en forma hidropónica (Lewis, 1978 citado por Caló 2011).

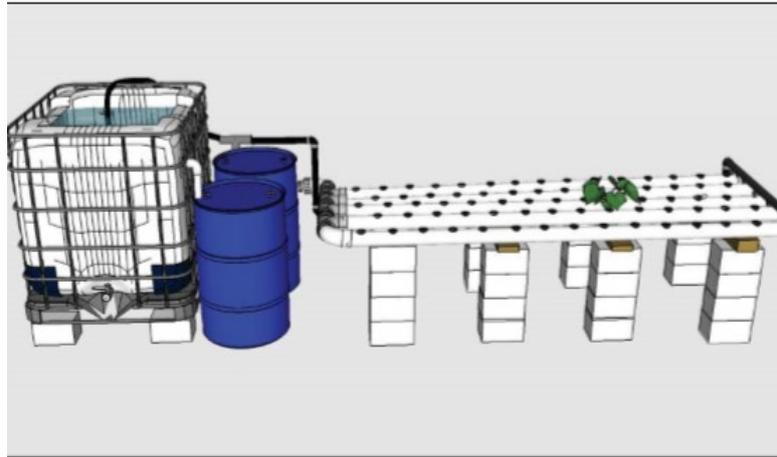
En la década de 1980, la mayoría de los intentos de hidroponía y acuicultura integradas tuvieron un éxito limitado. Sin embargo, las innovaciones tecnológicas luego de la década de los 80’ transformaron a la acuaponía en un sistema viable para la producción de alimentos. Durante esta década Mark McMurtry y Doug Sanders en la Universidad Estatal de Carolina del Norte desarrollaron un sistema acuícola basado en tilapia con los tanques en un invernadero. El efluente de los tanques de peces era regado por goteo sobre lechos hidropónicos de cultivo con arena. Las raíces de las plantas funcionaban como un biofiltro. El único aporte de fertilidad al sistema fue la alimentación de peces (32% de proteína). A principios de 1990, Tom y Paula Speraneo modificaron el método Mark McMurtry y Doug Sanders al criar tilapia en un tanque de 500 galones, vinculado el efluente nitrogenado a vegetales hidropónicos cultivados en camas de grava dentro de un invernadero solar adjunto. El sistema de Speraneo era práctico, productivo y tremendamente exitoso convirtiéndose así en el modelo para otros invernaderos acuaponicos comerciales, escuelas y programas de biología (Diver 2006).

En los '90 que se empezaron a obtener datos concretos aplicables a producciones comerciales. Rakocy, es considerado uno de los más importantes investigadores en el área; Radicado en la Universidad de las Islas Vírgenes, desarrolló un sistema de cultivo acuapónico que lleva en funcionamiento más de 25 años (Caló 2011).

2. DEFINICIONES CLAVES

2.1 Acuaponia

La acuaponia es el conjunto de técnicas y conocimientos para el cultivo de especies vegetales y animales, integrados en un mismo sistema en donde los organismos se benefician el uno al otro (Van der Auwermeulen, 2007),



(Figura 1). Básicamente, se trata de un sistema de recirculación cuya agua, al recircular y ser tratada con un tipo de bacterias específicas, llamadas nitrificadoras, las cuales alimenta un sistema de producción de vegetales permitiendo que el agua

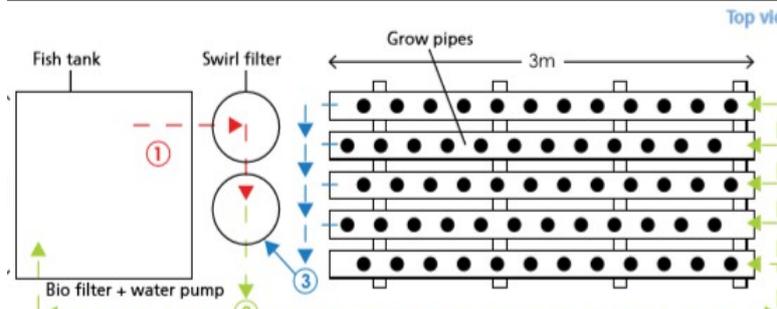


Figura 1. Esquema de un sistema acuaponico con sus 3 componentes básicos: Tanque de peces, filtros, modulo hidropónico. Fuente: Somerville 2014.

recircule de forma permanente. Es decir, los desechos de los peces sirven como nutrientes para el crecimiento de las plantas que a su vez tras absorber estos compuestos nitrogenados permiten que el agua regrese filtrada a los peces. La acuaponía termina siendo un sistema intensivo de producción agrícola sostenible que combina dos actividades productivas para obtener múltiples cultivos con un reducido uso de agua y sin fertilizantes (AUNAP 2015).

2.2 Acuicultura

Según la FAO (2003), la acuicultura se define como la cría de organismos acuáticos bajo la intervención humana para incrementar la producción de los mismos; la rama de la piscicultura

es la que se destaca por ser la más importante en cuanto volumen de producción; seguida en orden de importancia por crustáceos y moluscos (Candarle, s/f).

2.3 Hidroponía

La palabra hidroponía deriva de las palabras griegas “Hydro” (agua) y “Ponos” (labor o trabajo) y significa literalmente "trabajo en agua" (Figura 2). Es la ciencia que estudia los cultivos sin tierra. Esto no significa que a plantas necesariamente crecen en el agua, colgando o en el aire con baños de agua como es el caso de la “Aeroponía”. Hay diversas formas de hacer hidroponía, algunas de las cuales hacen uso de sustratos sólidos que no son tierra, tales como la concha de coco, cascarilla de arroz, arena lavada de río, perlita, rocas, etc. en donde los vegetales son alimentados mediante una solución de nutrientes que se les suministra por medio del agua de riego (Guzmán, 2004).

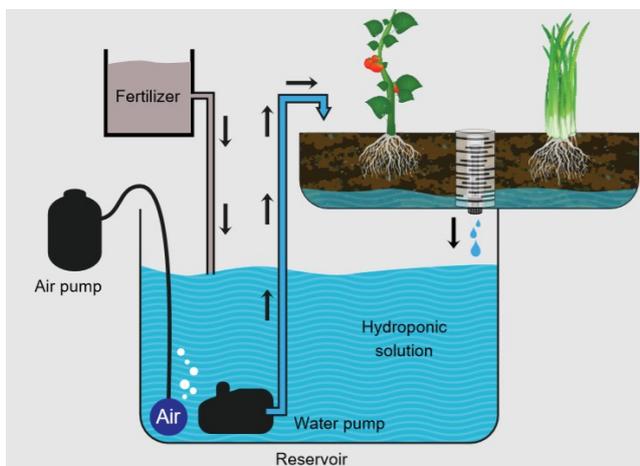


Figura 2. Sistema básico de hidroponía. Fuente: Somerville et. al. 2014.

Es una técnica alternativa y relativamente nueva para la producción cultivos saludables. Esta práctica permite cosechas en períodos más cortos que la siembra tradicional, mejor sabor y calidad del producto, mayor homogeneidad y producción. Tal como resalta Guzmán, favorece un ahorro considerable en el uso del agua de riego en la época seca y es una técnica económica, eficiente y racional en cuanto a la aplicación de los nutrientes minerales (sales minerales o fertilizantes).

2.4 Sistemas de recirculación acuícola: SRA

Los SRA, son sistema a través del cual se pueden cultivar organismos acuáticos de forma intensiva, en pequeños espacios y lograr altas producciones, en un ambiente totalmente controlado. Estos sistemas se han comenzado a aplicarse desde hace más de treinta años en diversos países, con el objeto de disminuir la cantidad de agua utilizada en las unidades de producción acuícola, mejorar el control de enfermedades, el crecimiento y, en general, la eficiencia del cultivo (Timmons, 2002 tomado de Sotomayor, 2016). Como condición para posibilitar su funcionamiento, se deben efectuar una serie de tratamientos al agua para liberarla de sustancias potencialmente tóxicas llamadas metabolitos (los cuales son emitidos al agua por los mismos peces bajo cultivo), mejorando así el uso del agua. Los sistemas de recirculación han demostrado ser una herramienta importante para la producción de peces en los países donde los

requerimientos de cantidad y calidad de agua además de la disponibilidad de terreno son limitantes, sumado a las regulaciones ambientales cada vez más estrictas (Sotomayor, 2016).

2.5 Filtros

2.5.1 Filtros mecánicos o clarificadores

Los filtros mecánicos se destinan a eliminar todas las partículas sólidas en suspensión que existen en el sistema como producto del propio metabolismo de la especie a cultivar. No es más que un tanque de decantación o sedimentación, en donde se acumulan las partículas sólidas de mayor tamaño presentes en el agua, como restos de alimento no ingerido y materia fecal de los peces. En la figura 3, se observa un filtro mecánico de sedimentación el cual actuar impulsando las partículas hacia abajo por efecto de la fuerza gravitacional y el movimiento circular efectuado por el agua que entra en él, así es como las partículas comienza a precipitar. Este filtro se debe situar inmediatamente a continuación del tanque que contendrá los peces. Si dichos sólidos quedaran dentro del sistema, taparían los otros filtros que se coloquen a continuación además de las raíces de los plantas impidiendo su correcta oxigenación, y en un corto plazo, se interrumpiría el eficiente funcionamiento del sistema. Por ello, Caló (2011) recomienda que los sólidos en suspensión sean los primeros en eliminarse en un sistema de recirculación. Por otro lado los sólidos acumulados en el fondo del filtro provocan la proliferación de organismos, tales como bacterias heterotróficas, las comúnmente llamadas “bacterias de la materia orgánica”, las que se reproducen a una tasa muy elevada respecto de las bacterias nitrificantes; inhibiendo el crecimiento de estas últimas, y ocupando el espacio establecido para el filtrado biológico. Si bien se deben remover los sólidos acumulados por otra parte se debe tener en cuenta que realizar una eliminación excesiva, puede causar una deficiencia en el crecimiento de las plantas por carencia de nutrientes.

2.5.2 Filtros biológicos o biofiltros

El biofiltro es un contenedor en el cual se colocan diversos tipos de estructuras (biobolas, tapas plásticas, piedras volcánicas, entre otros) las cuales poseen mucha superficie en un reducido volumen, para poder utilizar eficientemente el espacio, sobre ellos se alojan bacterias que transforman los compuestos nitrogenados circulantes en el sistema (Figura 4). El principal objetivo de los filtros biológicos es el convertir el nitrógeno amoniacal total (NAT) el cual se compone de amonio no ionizado (NH_3) y amonio ionizado (NH_4^+), en un compuesto menos tóxico para los peces. Es decir, la biofiltración cumple con dos funciones en el sistema acuapónico: la primera es transformar el amoniaco excretado por los peces, como desecho metabólico, en un compuesto menos toxico para ellos y la segunda es la obtención de un compuesto asimilable por las plantas para su crecimiento. Dichos procesos son llevados a cabo

por bacterias pertenecientes al género *Nitrosomona*, las cuales utilizan el nitrógeno amoniacal total (NAT) para crecer, convirtiéndolo en nitrito (NO_2^-); el cual mediante bacterias nitrificantes del género *Nitrobacter* se transforma en nitrato (NO_3^-).



Figura 3. Filtro mecánico de sedimentación, confeccionado con materiales reciclados.

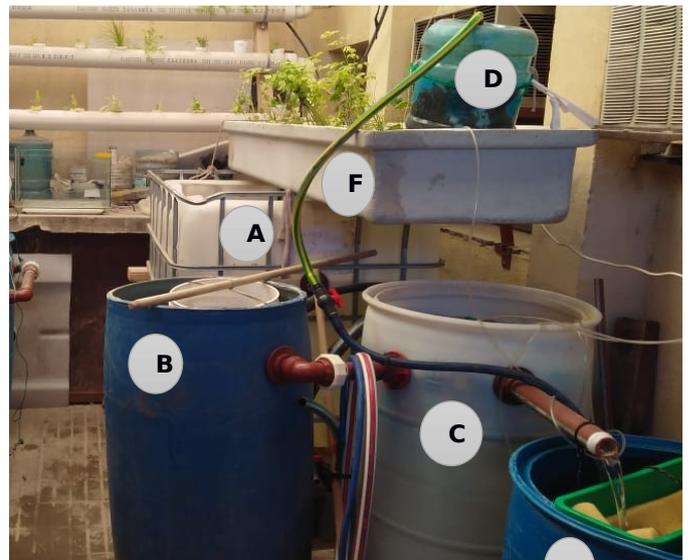


Figura 4. Biofiltro con tapas plásticas como medio de sustrato para las bacterias.

3. SISTEMA DE RECIRCULACION ACUICOLA, EN ACUAPONIA

La acuaponía como se mencionó anteriormente, es la integración de la acuicultura y la hidroponía en un solo sistema de producción. En una unidad acuaponica, las heces y los restos de alimento no ingeridos por los peces, primero pasan por un filtro mecánico que elimina los desechos sólidos y luego a través de un biofiltro que transforma los desechos disueltos, mediante un proceso llamado nitrificación. A medida que el agua, que contiene nitrato y otros nutrientes, viaja a través del lecho de cultivo de vegetales, las plantas los absorben y finalmente el agua purificada vuelve a los tanques que contienen los peces, y así el proceso continua de modo cíclico. Esta recirculación permite que los peces, las plantas y las bacterias prosperen simbióticamente y trabajen juntos para crear un ambiente de crecimiento saludable (FAO 2014).

En los sistemas de cultivo al incorporar estos tratamientos se logra que la tasa de renovación de agua sea de menos del 10% (Cardenas, 2008). Para lograr esta meta, el sistema consta de una serie de unidades fundamentales las cuales realizan la tarea de: oxigenación, remoción de sólidos, biofiltración



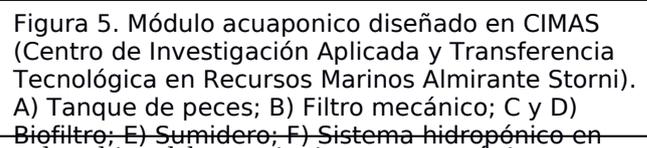


Figura 5. Módulo acuaponico diseñado en CIMAS (Centro de Investigación Aplicada y Transferencia Tecnológica en Recursos Marinos Almirante Storni). A) Tanque de peces; B) Filtro mecánico; C y D) Biofiltro; E) Sumidero; F) Sistema hidropónico en balsa flotante.

y regulación de pH. El agua que alimenta un sistema de cultivo debe reunir ciertas características de calidad y estar disponible en la cantidad necesaria. En este sentido, tal como Revenga (2018) resalta se debe tener en cuenta que en todo momento que el cultivo mismo deteriora la calidad. Es por ello que hay ciertos elementos con los cuales debe contar un sistema acuaponico, sobre los que se deben hacer controles de rutina; estos elementos esenciales son: 1) Tanque para cultivo de peces, 2) Filtro mecánico para remover las partículas originadas de los desechos metabólicos y la comida no consumida, 3) Filtro biológico que llevara a cabo la nitrificación, dando como resultado el nitrato (alimento para las plantas). 4) Unidad hidropónica. 5) Sumidero, no es indispensable (Figura 5).

3.1 Cultivo de peces

Los tanques para el cultivo de los peces son una parte esencial de cada unidad de acuaponía y pueden representar hasta el 20% del coste total de instalación de una unidad. Cualquier tipo de tanque puede ser utilizado, pero los tanques circulares de fondo plano son los más prácticos. La forma curva de las paredes permite que el agua fluya de manera uniforme y transporte los residuos sólidos hasta el centro del tanque. Es importante asegurarse de que sean resistentes a los rayos ultravioleta (UV) ya que una larga exposición a la luz solar directa puede destruir algunos plásticos. En cuanto al color del tanque, blancos o de otros colores brillantes son muy recomendables debido a que permite una mejor observación de los peces, su comportamiento, y evaluar fácilmente la cantidad de residuos depositados en el fondo del tanque. Los contenedores blancos también permiten reflejar la luz del sol y así mantener el agua fresca. Todos los tanques de cría colocado a la intemperie deben estar cubiertos por una tapa (puede ser una malla de agricultura) que deje pasar el aire y un poco de luz. La tapa actúa como sombreado, bloqueando de este modo el crecimiento de algas, impide que el pez salte por la borda y evita que los residuos externos caigan en el recipiente (por ejemplo: hojas, insectos, etc.) además de permitir excluir depredadores tales como gatos y aves (TECA-FAO 2014).

Varias especies de peces de aguas cálidas y frías están adaptadas a los sistemas de recirculación en acuicultura, como tilapia, trucha, perca y robalo. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de acuaponía a escala comercial se basan en la tilapia, en los de menor escala utilizan peces como la cachama blanca (*Colossoma macropomum*), carpa koi (*Cyprinus carpio*, carpa dorada (*Carassius auratus*), trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), perca (*Perca fluviatilis*), entre otros. (Fuentes, 2015).

Los desechos metabólicos que excretan los peces están compuestos principalmente de amonio (NH_4). Dicho compuesto es extremadamente tóxico para ellos mismo; la cantidad que se puede encontrar disuelta en el agua depende del pH y la temperatura. (Grajales, 2014).

3.1.1 Parámetros que se debe controlar

La densidad de la población de peces, su tasa de crecimiento, de alimentación y las fluctuaciones los parámetros ambientales pueden provocar cambios rápidos en la calidad del agua. El monitoreo constante de la calidad del agua es esencial (Diver 2006). Es por ello que para llevar adelante un cultivo sano se deben tener en cuenta ciertos parámetros como el pH, concentración de oxígeno, y de compuestos nitrogenados, nivel de cloro disuelto en el agua y la temperatura. En el mercado existen kits colorimétricos con los cuales se pueden realizar prueba de calidad del agua de un modo muy práctico y sencillo (Figura 6).



Figura 6. Kits colorimétricos para medición diversos parámetros. NO_3 , cloro disuelto, NO_2 y NH_3/NH_4 .

3.1.1.1 Concentración de oxígeno disuelto en el agua

Una baja en la concentración de oxígeno disuelto puede causar estrés o la mortalidad del cultivo por lo que se recomienda que este no sea inferior a 5-6 ppm. En general, menos de 5 ppm pueden reducir el apetito y el crecimiento, con menos de 3 ppm se produce mortalidad significativa, dependiendo cada especie de pez.

La cantidad de oxígeno que se disolverá en el agua dependerá de: la altura sobre el nivel del mar y la temperatura, a mayores valores de estas variables se disolverá menos O_2 (Revenga, 2018). Se debe tener en cuenta que si bien la disolución del oxígeno desde la atmosfera es constante, también lo es la extracción por la respiración de los peces y por reacciones químicas de materia orgánica (heces, alimento no consumido etc.).

El consumo de oxígeno varía constantemente a lo largo del día, en el momento que los peces se encuentran en ayuno y sin nadar su consumo de O_2 es bajo, pero en el momento que se los alimenta y comienza su digestión el consumo de O_2 es máximo debido al incremento de la tasa metabólica. A demás hay dos factores que influyen el consumo de O_2 : peso del pez y la temperatura. Para una determinada temperatura, cuanto menor sea el peso, mayor será la velocidad de su metabolismo (y por ende de su consumo de O_2). Se deduce entonces que, para una misma biomasa el consumo será mayor cuanto más pequeños sean los peces. Dejando ahora fijo el tamaño de los peces, si aumenta la temperatura, aumenta la velocidad del metabolismo y del consumo de O_2 asociado (Revenga, 2018).

Para aumentar la concentración de oxígeno se puede recurrir a dos métodos: a) Inyectar oxígeno o en su defecto aire con la implementación de bombas aireadoras u oxigenadores, para así mediante un burbujeo constante aumentar su concentración O_2 b) Provocar brusco movimiento en el agua antes de que ingrese al tanque de cultivo mediante una cascada, o algún objeto como una rueda con paletas o un cepillo (Figura 7).

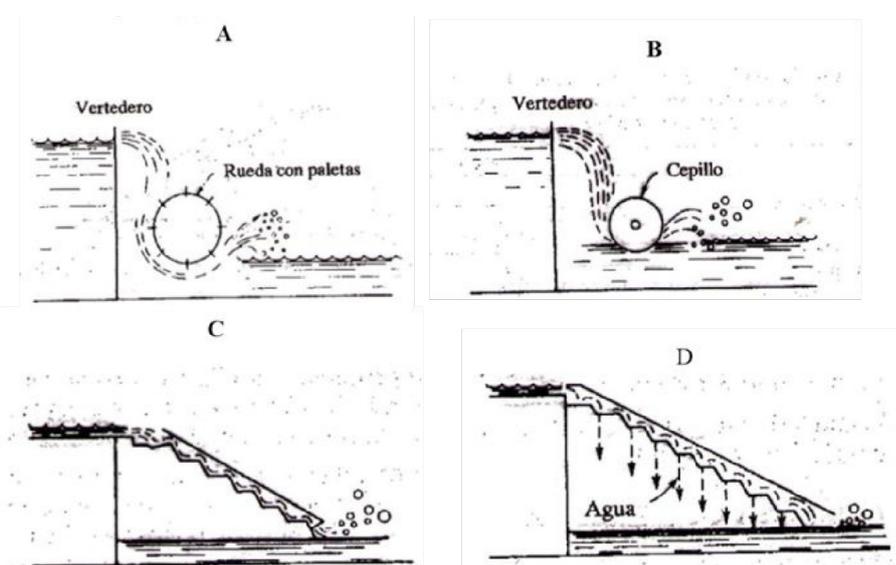


Figura 7. Métodos para oxigenar el agua. A) Vertedero con rueda con paletas; B) vertedero con cepillo; C) plano inclinado

3.1.1.2. Concentración de compuestos nitrogenados disueltos en el agua

El amoníaco es un gas tóxico que se disuelve en el agua, por lo que el balance entre el amonio producido por los peces, el alimento no consumido y la biomasa de bacterias muertas debe estar equilibrado con la tasa de remoción de amonio mediante el recambio de agua y la filtración biológica (Suhr y Pedersen, 2010, tomado de García-Pulido et. al. 2011).

El NH_3 es la forma tóxica de los compuesto nitrogenados que se encuentran dentro de un sistema, y por ende es uno de los factores químicos limitantes de la producción después del O_2 . La proporción de las formas tóxicas y no tóxicas están influida por la temperatura y el pH: la concentración de la forma tóxica aumenta cuando se eleva la T° y/o el pH. Concentraciones de NH_3 (forma no ionizada) >0.0125 mg/l producen en salmónidos disminución de crecimiento y daño tisular en branquias, hígado y riñón. Incluso valores menores, como 0.006 mg/l podrían producir reacciones tóxicas en salmónidos. La tasa de producción de amoníaco total de los peces está en estrecha relación con la cantidad y calidad (contenido en proteínas) del alimento suministrado y, como puede suponerse, no es constante en el tiempo. Si se detectan concentraciones elevadas de NH_3 , lo mejor es suspender la alimentación hasta que este llegue a valores no tóxicos y a su vez se debe verificar el biofiltro, ya que esto se debe, en la mayoría de las veces, a que este no se encuentra funcionando correctamente.

3.1.1.3. pH

El 90% de las aguas naturales rondan en promedio valores de pH de 6.7 y 8.2, es conveniente que los peces no se cultiven fuera del rango 6.5-9.0. La tolerancia a valores extremos de pH se hace menor a mayor temperatura. En general un pH neutro ó ligeramente alcalino (7-8) se considera como el más adecuado. A un pH de 5.5 los peces sufren de acidosis, con irritación de piel y branquias y reducción de capacidad de transporte de O_2 en la sangre. Por encima de un pH 9 puede producirse alcalosis, con síntomas parecidos a la acidosis (Revenga, 2018).

3.1.1.4. Concentración de cloro disuelto en el agua

Este no suele ser un problema en aquellos cultivos que se tome agua directamente de pozo, ríos, lagos u otras fuentes naturales, pero si lo es en los caso que el agua es tomada directamente de las redes domiciliarias, es por ello que cada vez que se utilice agua de esta fuente

se debe colocar tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), este compuesto en la acuicultura se utiliza para la neutralización del cloro el cual es altamente tóxico para los peces. Para la neutralización del cloro, la cantidad de tiosulfato sódico requerida puede variar según el pH del agua. Generalmente se sugiere un rango aproximado de 2 a 7 partes de tiosulfato sódico para neutralizar 1 parte de cloro. Para neutralizar 1 litro de solución de cloro a 200 ppm de concentración, se requerirían aproximadamente 0,4-1,4 gramos de tiosulfato sódico. En el mercado, este químico se puede conseguir diluido, listo para usar, o en granos por lo que previo a su uso se debe preparar una solución madre concentrada.

3.1.1.5. Temperatura

Esta es una variable clave, ya que, tal como expresa Revenga (2018) al incrementarse dentro de ciertos rangos, aumenta la tasa metabólica y la velocidad de crecimiento. Se debe tener presente que existen diferentes rangos óptimos entre las especies y, aún dentro de una misma especie, hay variaciones según la variedad genética. El sistema inmune de los peces trabaja más eficientemente a la T° óptima (la de mayor crecimiento). Cuando la T° se eleva por sobre el óptimo se observan dos consecuencias: a) disminuye la tolerancia a los metabolitos tóxicos. En estos casos es recomendable aumentar el caudal y/o bajar la densidad de cría además de disminuir o suprimir la alimentación b) Disminuye la solubilidad del oxígeno.

Por el contrario cuando la T° se encuentra por debajo del óptimo el metabolismo de los peces comienza a “desacelerarse” lo que trae como consecuencia que no ingieran la cantidad de alimento suficiente para lograr un correcto crecimiento en el tiempo establecido para cada especie.

3.2. Filtro mecánico

Tal como se mencionó anteriormente este se coloca a continuación del tanque que contendrá a los peces, y se destina a eliminar todas las partículas sólidas en suspensión, es decir, separa los residuos sólidos que luego serán removidos del sistema para prevenir la liberación de gases tóxicos por parte de bacterias que se alimentan de ellos. Además, las partículas más gruesas pueden obstruir el sistema e interrumpir el flujo de agua, causando condiciones estresantes para las raíces de las plantas y los peces, como por ejemplo: la falta de agua, la falta de oxígeno, etc. Tal como resalta TECA-FAO (2014) la instalación de buenos filtros mecánicos es clave para el éxito de una unidad de acuaponía.

El tipo de filtro mecánico a utilizar dependerá de la escala de cultivo acuaponico que se tenga; para un cultivo a pequeña escala el método más simple para retener las partículas finas que no allá decantado en el filtro mecánico de sedimentación (Figura 3), es colocar un contenedor con esponjas, goma espuma, o cualquier material que contenga pequeños orificios

para retenerlas (Figura 8 y 9), este se debe limpiar diariamente para evitar su colmatación y que se pueda provocar una falla en el correcto funcionamiento del sistema. Si se tiene un cultivo a gran escala, con alta densidad de peces se recomienda optar por los filtros mecánicos que existen actualmente en el mercado.



Figura 8. Filtro mecánico para retención de partículas finas de heces de pez y restos de alimento no consumido.



Figura 9. Filtro mecánico confeccionado con esponjas y materiales reciclados.

3.3. Filtro biológico

Como ya se mencionó, el biofiltro alberga las bacterias nitrificadoras (*Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp.) que convierten el amonio en nitrito y luego en nitrato (Figura 10). Estos dos primeros son perjudiciales para los peces y en altas concentraciones pueden producir la muerte, por el contrario el nitrato no es tóxico y es beneficioso para las plantas.

Las superficies filtrantes para soporte de estas bacterias son: piedras, esponjas, bio-bolas, roca volcánica, tapas pasticas, etc.; para ofrecer una superficie considerable que permita un adecuado desarrollo y adherencia de bacterias se requieren de materiales con una alta relación superficie/volumen (m^2/m^3), (Figura 11). Se debe tener en cuenta que las tasas de nitrificación para

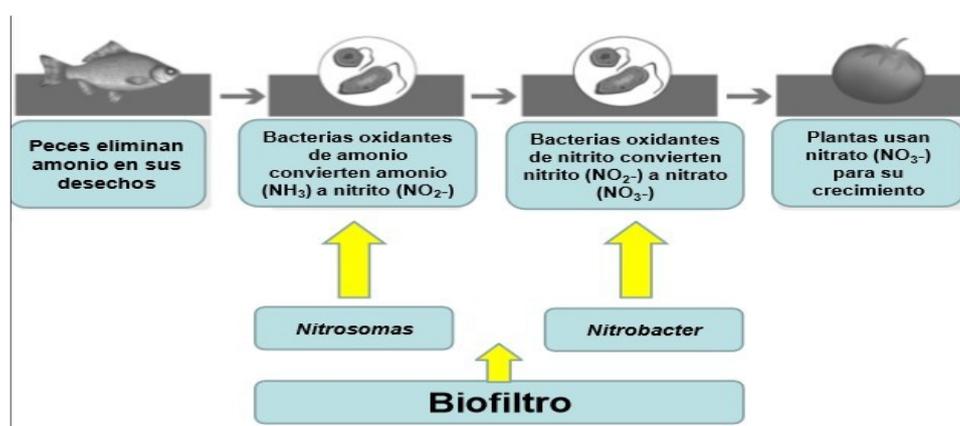


Figura 10. Proceso de nitrificación. Fuente: Bustamante (s/f).

sistemas de agua fría van desde 0.3 a 0.6gr. de remoción de NAT/día/m² de volumen de lecho expandido; en los sistemas de agua más cálidas, los rangos de la tasa de remoción de NAT van desde 0.7 a 1 g/día/ m² de volumen de lecho expandido (Revenga, 2018).



3.3.1 Activación

En el proceso de "maduración del biofiltro" que consiste en la maduración del biofiltro. Para ello se requiere la acumulación de los compuestos nitrogenados, se requiere que el filtro biológico esté maduro. Es decir, que tenga suficientes bacterias para llevar a cabo la nitrificación. Se recomienda que antes de introducir a los peces al SRA se lleve a cabo la activación del biofiltro. Esta activación requiere de 20 a 45 días para estabilizarse, es decir en que el filtro biológico alcance un valor no tóxico para los peces y que se encuentre cantidad suficiente de bacterias para que las plantas puedan nutrirse (Figura 12).

La activación se puede realizar mediante dos métodos:

Figura 11. Sustratos para fijación de bacterias nitrificantes. A) Roca volcánica, piedra pómez; B) Tapas plásticas; C y D) Sustrato tipo K1; E) Bio-bolas.

- 1) Utilizando productos químicos (nutrientes o bacterias).
- 2) Puede ser ayudada por la adición de unos pocos peces al sistema. Sus desperdicios proporcionarán la comida que las bacterias necesitan para crecer. Después de que el filtro es poblado con la bacteria, agregan el resto de los peces al sistema (Cline, 2005).

Un biofiltro se considera maduro cuando los niveles de amoníaco y nitritos se encuentran entre 0-1 mg/L y los niveles de nitratos aumentan.

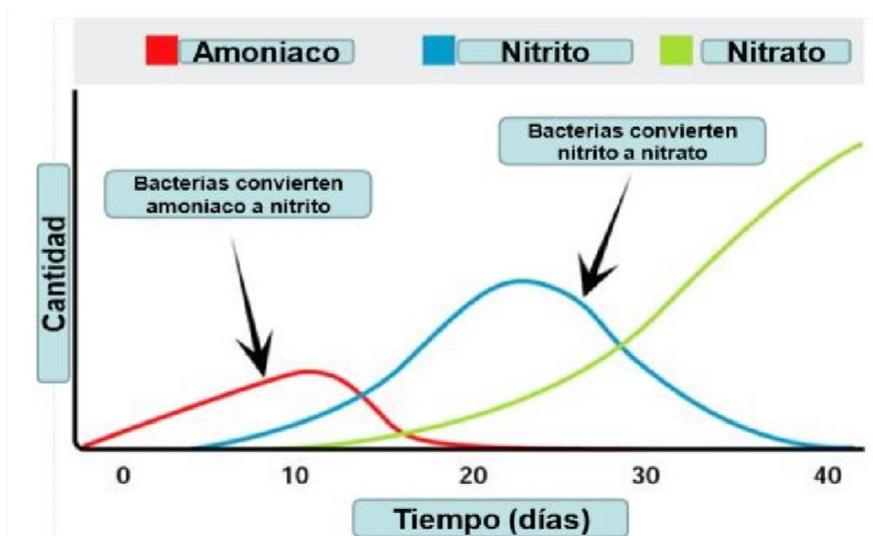


Figura 12. Proceso de maduración para un biofiltro, Fuente: Bustamante (s/f).

3.3.2. Controles de rutina

Los controles fundamentales que se deben realizar para el correcto funcionamiento del biofiltro y por ende de todo el sistema son: pH, temperatura, concentración de compuestos nitrogenados, concentración de oxígeno disuelto (Figura 13).

	Temp (°C)	pH	Amonio (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Bacterias	17-34	6-7	< 1	< 1	5 - 150	4-8

Figura 13. Rangos óptimos para bacterias nitrificantes. Fuente: Bustamante (s/f).

Bustamante, describe estos controles del siguiente modo:

- ✓ El control del pH es muy importante ya que puede generar problemas en la acción nitrificadora. Durante el ciclo del nitrógeno las bacterias consumen al grupo hidroxilo (OH^-) bajando el pH, lo que aumenta la concentración de CO_2 . En los sistemas donde la tasa de recambio es baja como en los SRA, el CO_2 se puede acumular hasta niveles tóxicos. El rango óptimo de acción para las bacterias es un pH de 6-7.
- ✓ En cuanto a los compuestos nitrogenados se debe tener en cuenta que: a) El amoníaco en una concentración mayor a 3 mg /L inhibe bacterias nitrificantes. b) Los nitritos en una eficiente nitrificación se deben encontrar por debajo de 1 mg/L para que no sean tóxicos. c) Los nitratos nos dan un indicio de que tan equilibrado o no se encuentra nuestro sistema, hasta 150 mg/L se puede establecer que el sistema se encuentra en equilibrio, por debajo o por encima de esta concentración el sistema está desequilibrado. El primer caso se puede dar por un exceso de plantas o por la falta de peces; el segundo caso se da cuando hay una insuficiencia en la biofiltración (Figura 14).

Alto amonio o nitrito-----insuficiente biofiltración
Bajo nitrato-----exceso de plantas o peces
Alto nitrato (hasta 150 mg/l) -----sistema en equilibrio

Figura 14. Indicios de equilibrio/ desequilibrio de un sistema acuaponico. Fuente: Bustamante (s/f).

- ✓ La temperatura es un parámetro que nos va a afectar las concentraciones de los compuestos nitrogenados y el pH, por ende el control de este es muy importante. Las bacterias actúan de modo más eficiente en rangos de altas temperaturas entre 17-34°C, por debajo de esta si bien siguen actuando su poder nitrificante disminuye conforme la temperatura baja.
- ✓ En cuanto al oxígeno este se debe mantener por encima de los 3 mg/L, lo recomendable es entre 4-8 mg/L, si disminuye por debajo de los 3 mg/L, las bacterias dejan de realizar el proceso de nitrificación, ya que durante este consumen grandes cantidades de oxígeno, lo que provocaría un aumento de los compuestos nitrogenados tóxicos.

3.3.3 Tipos de Biofiltros

El biofiltro ideal sería el que pudiese remover el 100% del amoníaco de la alimentación, no producir nitrito, requerir de poca superficie, usar un medio de soporte barato, no requerir presión de agua ni mantenimiento para operar, y no capturar sólidos. Desgraciadamente, no hay un biofiltro que cumpla con todos estos requisitos, cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas y áreas de mejor aplicación, tal como los describe Merino y Sal (2007). Como se mencionó anteriormente se debe tener en cuenta que previo al paso del agua por el biofiltro, se debe instalar el filtro mecánico, ya que si los sólidos no son removidos se acumularían dentro del filtro biológico, junto con la masa celular producto del crecimiento de bacterias nitrificantes y heterotróficas, este proceso tapanía los espacios vacíos, impidiendo el correcto funcionamiento.

3.3.3.1 Lecho sumergido

Consiste en un lecho/sustrato como medio de soporte sobre el cual se desarrollan las bacterias nitrificantes, a través de este pasa el agua residual mediante un flujo ascendente o descendente. Tradicionalmente se usan medios de gran tamaño, como roca partida uniformemente por sobre los 5 cm de diámetro o de plástico por sobre los 2.5 cm de diámetro, para proveer grandes espacios vacíos y así prevenir el atascamiento. Los inconvenientes de este tipo de filtros incluyen: problemas de bajo oxígeno disuelto y acumulación de sólidos, esto se debe a que se suelen encontrar muy recargados de materia orgánica y presentan un gran dificultad de retro-enjuague (Merino y Sal, 2007). Para evitar la acumulación de los sólidos es que es de suma importancia contar con un filtro mecánico eficiente colocado entre el tanque de cultivo y el biofiltro. Para contrarrestar la falta de oxígeno es que se requiere colocar aireadores. La confección de un biofiltro sumergido solo se necesita un contenedor, el sustrato filtrando y caños/mangueras para generar la corriente de agua de entrada y salida. (Figura 15).

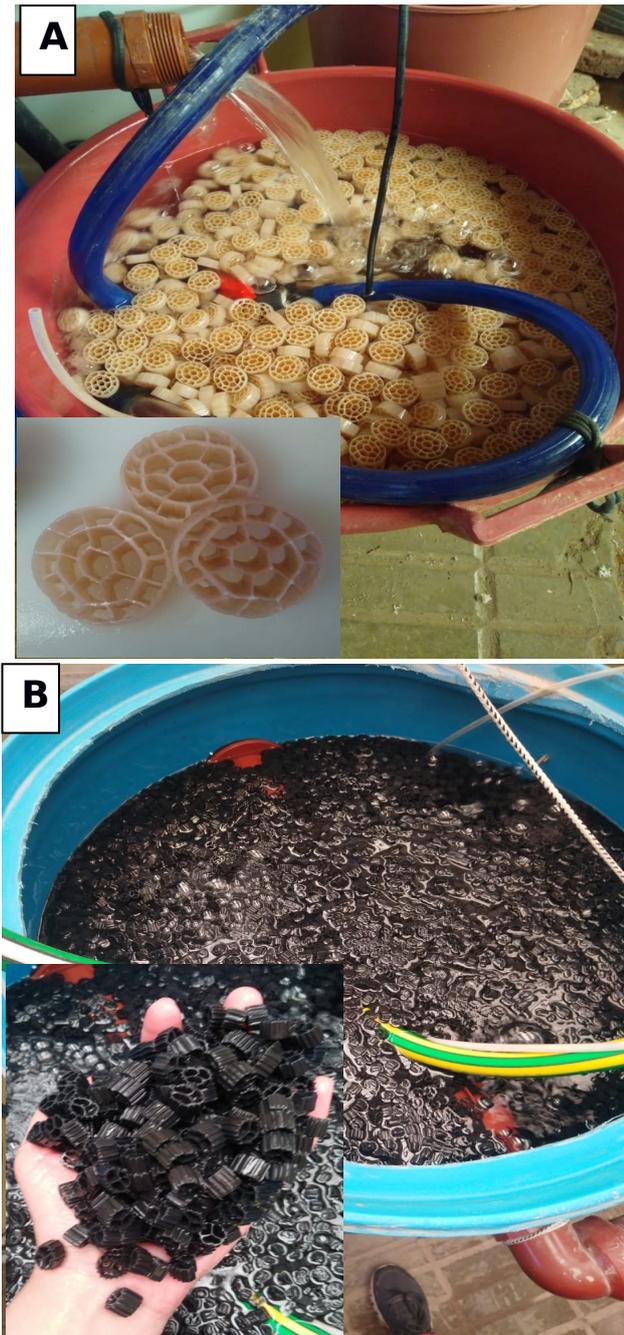


Figura 15. A) Biofiltro con contenedor de 70L. y sustrato tipo K1 B) Biofiltro con contenedor de 200L. y sustrato tipo K1; C) Biofiltro con contenedor de 200L. y sustrato de tapas plásticas.

3.3.3.2 Lecho emergido: filtros percoladores

Los filtro percolados operan del mismo modo que los sumergidos, excepto que el agua residual fluye hacia abajo por sobre el medio y mantiene la película bacteriana mojada, pero nunca completamente sumergida. Ya que los espacios vacíos son rellenos con aire en lugar de agua, las bacterias nunca entran en



Figura 16. Filtro percolado confeccionado con taque de 20L y bigollas en su interior

carencia de este. Son fáciles de construir y operar, son auto-aireantes, muy efectivos para desgasificar dióxido de carbono (CO₂) (Figura 16).

3.4. Unidad hidropónica

Una vez que el agua proveniente del estaque de los peces fue filtrada, se la dirige hacia el cultivo de plantas. Caló (2011) hace referencia la amplia gama de plantas que han sido cultivadas con éxito, entre ellas se encuentran: hortalizas (lechuga, acelga, radicheta, rúcula, perejil, escarola, espinaca, etc.); vegetales varios (tomate, pimientos, melón, coliflor, brócoli, arvejas, zanahoria, cebolla, etc.); hierbas aromáticas (Menta, albahaca, cilantro, orégano, etc.); plantas acuáticas (loto, lemna, elodea, vallisneria, etc.) y ornamentales (helechos, florales, etc.).

3.4.1 Métodos de cultivo para vegetales

El cultivo se puede realizar de tres modos diferentes dependiendo del tipo de planta, y sus requerimientos de crecimiento, estos son: Sistemas NFT, cultivo de raíz flotante / balsa y lecho de sustrato.

3.4.2 Los sistemas NFT (Nutrient Film Technique)

Son sistemas desarrollados para el cultivo de plantas de tallo corto o de hojas. Su modo de accionar es por la circulación a través de varios canales en forma de tubos, de la solución cargada de nutrientes proveniente del biofiltro, una vez que el agua recorre todo el tubo de cultivo vegetal, regresa al tanque de peces (Figura 17). Las ventajas que presenta este sistema es una mínima la pérdida de agua por evaporación por lo tanto requiere menos agua y además simplifica las labores de cosecha.



Figura 17. Sistema NFT instalado en CIMAS, San Antonio Oeste, Río Negro.

3.4.3 El cultivo de raíz flotante o balsa

Este sistema es ideal para plantas de bajo tamaño y algunas plantas aromáticas. Permite hacer más eficiente la disponibilidad de nutrientes, reducir la competencia entre plantas y con las condiciones ambientales adecuadas el ciclo de las mismas disminuye y se obtienen cosechas con buenos rendimientos antes de lo esperado. Ésta técnica consiste básicamente en una largar superficie de algún material que se mantenga a flote (madera, tergopol, etc.) sobre contenedores en el cual circula el agua con los nutrientes (Figura 18).



Figura 18. Sistema de balsa instalado en CIMAS, San Antonio Oeste, Río Negro.

Se pueden obtener producciones automatizadas, y si se cuenta con las herramientas adecuadas requerirá de cuidados mínimos.

3.4.4 Sistema de lecho de sustrato

Se trata de contenedores como cajones, bateas, etc., llenos de un sustrato inerte que sirve de sostén a las plantas (Figura 19). Dichos contenedores no suelen tener más de 30 cm de profundidad, ingresando el agua por uno de sus extremos y egresando por el



Figura 19. Sistema de lecho de sustrato / sustrato de cama sólido. Fuente: Somerville, 2014.

opuesto. Las principales ventajas de este sistema es que su diseño y confección es simple, no se requiere de ningún experiencia previa, además permite utilizar piezas recicladas y soporta vegetales de gran tamaño, por ello es útil para plantas que necesitan buen sostén por su peso, como son los tomates, pimientos, etc., o bien, son empleados en condiciones climáticas adversas, como vientos. Al mismo tiempo, proporcionan un excelente medio de cultivo para especies rastreras o con tubérculos como son los zapallos, melones, cebollas, remolachas, zanahorias, etc. (Fuentes, 2015).

3.4.5 Densidad de cultivo vegetal

La cantidad de plantas que puede soportar un sistema acuaponico está relacionada con la densidad de los tanques de peces y por ende, la posterior concentración de nutrientes del efluente acuícola, además de los requerimientos nutricionales de cada planta. Según Diver (2006) entre aquellas con requerimientos nutricionales entre bajo-medio y que están bien adaptadas a los sistemas acuaponicos se encuentran: las hierbas, la lechuga, espinacas, cebollín, albahaca y berros; mientras que las plantas que producen fruta (tomates, pimientos y pepinos) tienen una mayor demanda nutricional, es por ello que para la elección de los vegetales a cultivar, debe tenerse en cuenta que cuanto mayor demanda nutricional necesite una planta, 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 (Calo, 2011).

3.4.6 Rendimientos hidropónicos

El rendimiento vegetal de la acuaponia según estudios de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural -México (SAGARPA), en los primeros 2 a 4 meses es inferior al de un cultivo hidropónico después de este tiempo se puede obtener rendimientos hasta 20% superiores a los del sistema hidropónico (Salinas, et al. s/f).

Por otro lado, por cada 60 a 80 gramos de alimento que se suministre al cultivo de peces, puede terminar como fertilizante de un metro cuadrado de cultivo hidropónico, lo que equivale entre 25 y 30 vegetales de hoja como por ejemplo lechugas o albahacas, (AUNAP, 2015). Si se realiza una comparación con las plantas de lechuga cultivadas en tierra y las cultivadas de modo hidropónico/acuaponico se observa un gran aumento en los rendimientos con este tipo de cultivos; en suelo rinden entre 6 a 8 plantas por m², mientras que en acuaponia se alcanza entre 25 a 30 plantas por m². En relación ocurre lo mismo con tomate, acelga y berro (Van der Auwermeulen 2007).

La correspondencia del volumen de agua del tanque de peces con el volumen de medios hidropónicos se conoce como “relación de componentes”. Los primeros sistemas de acuaponia se basaban en una relación de 1:1, pero ahora 1:2 es común y se emplean relaciones, “tanque: lecho” de hasta 1:4. La variación en el rango depende del tipo de sistema hidropónico (grava vs. balsa), especies de peces, densidad de peces, tasa de alimentación, especies de plantas, etc. En estudios realizador por Diver (2006) se demuestra que cuando se emplean sistemas de lecho poco profundo de solo tres pulgadas de profundidad para la producción de verduras como la lechuga y

la albahaca, la superficie cuadrada del espacio de cultivo aumentará cuatro veces. Dependiendo del diseño del sistema, la relación de componentes puede favorecer mayores salidas de productos hidropónicos o proteínas de pescado.

3.5 Sumidero

Un sumidero no es más que un recipiente de recuperación, decir es un reservorio donde se colecta el agua. De este modo el agua fluye en el depósito donde se encuentra una bomba sumergible de agua, que se utiliza para devolver el agua al tanque de peces. Este depósito tiene que ser más pequeño que el tanque de cría, pero debe ser capaz de contener entre un cuarto y un tercio del volumen del tanque de peces. Como se mencionó anteriormente el sumidero no siempre es indispensable, esto aplica para los casos de unidades acuaponicas muy pequeñas, (con tanques de peces de menos de 200 litros), el agua puede ser bombeada a los recipientes de cultivo, elevados con respecto al tanque de cría. Por gravedad, el agua fluirá a través de las camas de cultivo y luego volverá a caer en la pecera (TECA-FAO, 2014).

4. *ONCORHYNCHUS MYKISS* (TRUCHA ARCOÍRIS): CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE

4.1 Cultivo de trucha arcoíris:

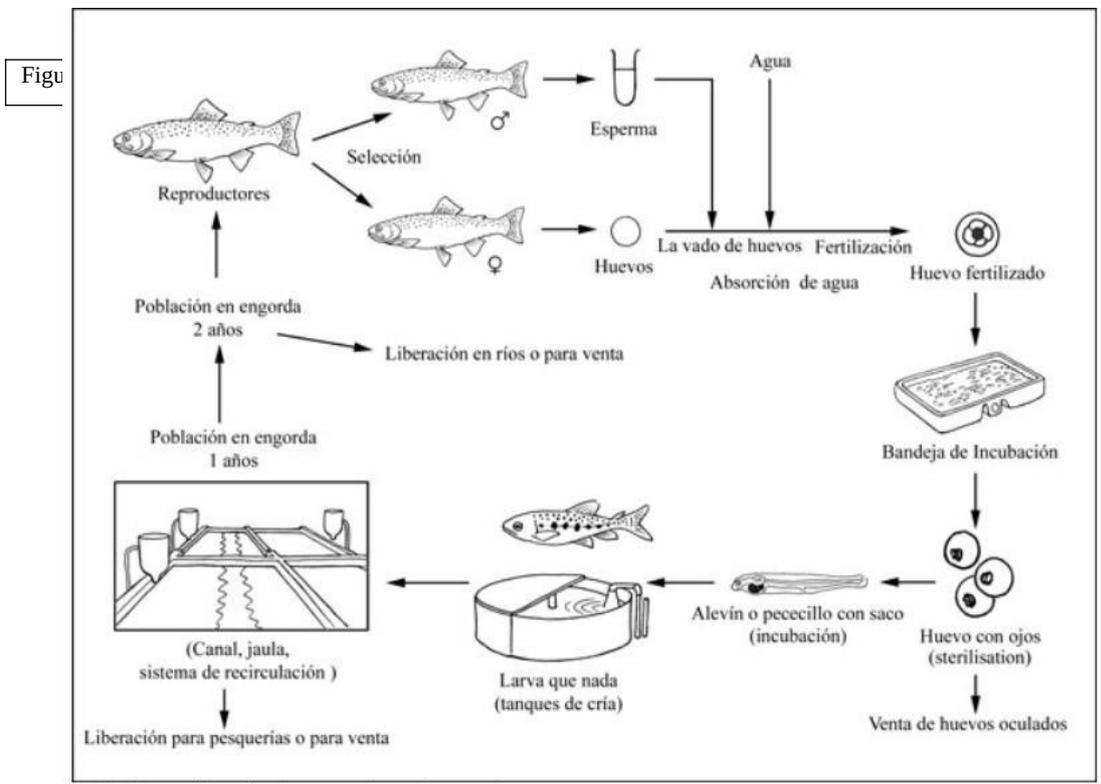
La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), es una especie íctica perteneciente a la familia de los salmónidos, nativa de la costa este del Océano Pacífico, desde Alaska hasta el norte de México. Actualmente es la trucha más ampliamente distribuida en todos los lugares del mundo en donde las aguas son frías y cristalinas. Según FAO (2009), desde 1874 ha sido introducida en todos los continentes excepto la Antártica, con propósitos recreacionales para pesca deportiva y para acuicultura. Como resultado de esto, se han desarrollado varios linajes o cepas locales domesticadas (e.g. Shasta y Kamloops), mientras que otras han surgido a través de selección masiva y entrecruzamiento para mejorar la calidad de los peces para cultivo.

La especie tiene forma de torpedo y cuenta con un color de tegumento verdeazulado en el dorso con tintes más claros en los flancos y el vientre blanco. Aunque sus colores varían según su hábitat, edad y etapa reproductiva generalmente se encuentran entre azul verdoso o amarillo verdoso con una línea rosa en cada lado además de puntos negros en la parte dorsal y en las aletas (Figura 20).



Figura 20. Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) Fuente: Sánchez, 2013.

La trucha arcoíris, es capaz de ocupar muchos hábitats diferentes, que abarcan desde un ciclo de vida anádromo, cepa conocida como cabeza de acero "steelhead", hasta cepas que habitan de manera permanente en lagos. La cepa o linaje anádromo es conocida por su crecimiento rápido, alcanzando 7-10 kg dentro de 3 años, mientras que la cepa de agua dulce sólo puede alcanzar 4.5 kg en el mismo lapso. La especie puede soportar amplias gamas de variación de temperatura, 0-27 °C, pero el desove y crecimiento ocurren en una gama más estrecha, 9-14 °C (FAO, 2009). Se debe tener en cuenta que esta especie no desova naturalmente en sistemas de cultivo; de modo que los juveniles deben ser obtenidos ya sea por desove artificial en un hatchery (Figura 21) o por recolección de huevos de poblaciones silvestres.



Este salmónido es la típica especie que se utiliza para el cultivo en pisciculturas por su rápido crecimiento y también por su fácil adaptación a la alimentación artificial (Dekovic, 2015), además de ser tolerantes a una amplia gama de ambientes y manipulaciones. Es resistente a enfermedades y menos susceptible a los cambios de calidad de agua (incluyendo T°) que por ejemplo el salmón Atlántico y la trucha marrón, además de ser menos vulnerable a la mayoría de las enfermedades que atacan a los salmónidos (Revenga, 2018).

4.1.2 Alevines

El proceso o etapa de alevinaje abarca desde los 2 cm hasta los 7 - 9 cm de longitud de los peces, para su crianza puede utilizándose peceras de vidrio o tanque de cemento o fibras de vidrio, circulares o rectangulares. El tamaño de los estanques dependerá de la cantidad de producción que se desee realizar. Sin embargo, la altura del agua en cualquiera de los tipos de estanques, debe estar entre 60 y 80 centímetros.

Hay diversos parámetros a tener en cuenta a la hora de adquirir los alevines para iniciar un cultivo sano y próspero, estos se detallan en la siguiente tabla:

Reacción	Color	Anormalidades en el cuerpo	Tamaño y estado nutricional	Homogeneidad	Sexo
Los alevines sanos tienen una reacción de huida cuando se les acerca, alevines con poca movilidad, lentos o con nado errático no es	Nunca comprar alevines oscuros o negros, ya que esto es posiblemente señal de enfermedad.	Observar que los alevines no tengan anomalías como ojos saltones, estén torcidos, tengan presencia de hongos (motitas blancas como de algodón) o puntos blancos.	El tamaño mínimo para la venta debe ser 3 centímetros. Se debe observar que no estén en estado de cabeza de alfiler (cabeza grande y cuerpo flaco)	Los alevines deben presentar tamaños similares	De preferencia se deben adquirir alevines solo hembras ya que estas crecen más que los machos y son menos agresivas.

4.1.3 Siembra de alevines (densidad de cultivo)

Tabla 1. Aspectos a tener en cuenta a la hora de adquirir alevines de Trucha Arcoíris. Fuente: FAO, 2014.

La cantidad de alevines por metro cúbico depende de su tamaño, la temperatura del agua y el diseño del estanque. En la tabla 2 se presenta una relación entre el tamaño de los alevines (longitud) y número por metro cúbico, tomando en consideración el diseño del estanque (FAO

2014). Otro modo de calcular la biomasa óptima de cultivo es a partir de su peso, en este caso debe mantener en un rango de 7- 8 kg/m³ máximo, según el tamaño de los alevinos.

Longitud de los alevinos	Número máximo por m ³	
	En estanques circulares	En estanques rectangulares
3,0 cm	7500	-
4,0 cm	4600	2300
5,0 cm	3400	1700

Tabla 2. Estimación de densidad para cultivo de alevinos de trucha arcoíris. Fuente: FAO, 2014.

4.2 Alimentación

En el mercado existe una gran variedad de alimentos balanceados con los cuales se les puede aportar a las truchas todos los elementos necesarios para su correcto desarrollo y crecimiento. Hay cinco componentes básicos que son necesarios para su alimentación y que tienen que estar presentes en el alimento, la FAO los describe del siguiente modo:

- **Proteínas:** Importantes para la formación de los distintos órganos del cuerpo, las proteínas debe ser mayormente de origen animal (Carne, hígado o sangre).
- **Carbohidratos:** Necesarios como fuente de energía. Los cereales como el trigo, maíz, cebada, la soya son muy utilizados como fuente de carbohidratos.
- **Grasas:** Vitales como fuentes de energía.
- **Vitaminas:** Son importantes para un buen crecimiento de la trucha y para evitar enfermedades.
- **Minerales:** Necesarios en la formación de los huesos, dientes y la sangre. El requerimiento de los minerales es reducido y son asimilados del agua y del alimento.

Una cuestión importante a tener en cuenta es que el alimento representa entre el 50% al 60% de los costos de producción en el cultivo de las truchas, por lo que un programa inadecuado de alimentación puede poner en riesgo la rentabilidad del proyecto de cultivo (Tabla 3).

En el momento en que los alevinos acaban con sus reservas de vitelo y comienzan a alimentarse mediante la ingestión, se les debe de dar raciones muy pequeñas de alimento concentrado en polvo o de granulado fino con un alto nivel de proteína (44 a 50%), contra más veces en el día se les pueda suministrar alimento mejor, ya que esto disminuye la proporción que se le entrega cada vez y se asegura que el alimento no precipite y que todos los individuos se alimenten, es decir se debe “entrenar” a los alevinos para que comiencen a comer el alimento

Producto	Tamaño de pellets (mm)	Presentación física	Peso trucha (gr)	Etapa de crianza
Pre inicio 1-55	0,3a0,8	Polvo	0,1a1,0	Post-larva
Pre inicio 2-50	0,8x1,3	Granulado	1,0a2,5	Alevinos
Inicio 45	1,5x2,0	Pellet	2,5a10,0	Alevinos
Crecimiento 1-42	2,5x2,5	Pellet	10,0a30,0	Juveniles
Crecimiento 2-42	4,0x4,0	Pellet	30,0a90,0	Juveniles
Engorde 40	6,0x6,0	Pellet	90,0 a la venta	Pre-comercial
Enaorde 40	8.0x8.0	Pellet	250,0 a la venta	Comercial

TABLA DE CONSUMO								
Alimento	Peso gr	Tall cm	%PESO CORPORAL Temperatura del agua C					
			10	12	14	16	18	
Pre-inicio 1-15-pulverizado	Larva	<1,1	5,1	6,2	7,4	8,8	10,6	
Pre-inicio 2--50-granulado	0,2	1,1-1,5	4,1	4,9	5,9	7,1	8,5	
	0,6	1,5-3,5	3,7	4,4	5,3	6,3	7,6	
Inicio 45	0,6-1,5	3,5-5,0	3,2	3,8	4,6	5,5	6,6	
	1,5-5,0	5,0-6,0	2,6	3,1	3,7	4,4	5,3	
Crecimiento 1-42	5,0-7,0	6,0-8,0	2,5	3	3,6	4,3	5,1	
	7,0-9,0	8,0-9,0	2,2	2,7	3,2	3,8	4,6	
Crecimiento 2-42	9,0-25,0	9,0-12,0	1,6	1,9	2,3	3,8	3,3	
	Engorde-40	25,0-57,0	1,4	1,6	2	2,3	2,8	
Engorde-40	57,0-137,0	15,0-25,0	1,1	1,3	1,5	1,9	2,2	
Acabado C/P-40	137,0-265,0	25,0-27,5	0,9	1	1,2	1,5	1,8	

Tabla 4. Cálculo de alimentación diaria para trucha arcoíris. Fuente: FAO

2014.

En la etapa de engorde el alimento debe ser distribuido en varios puntos del estanque a modo de lluvia, entre 2 a 3 veces por día. El cálculo del alimento diario, al igual que en los alevinos dependerá de la clase de alimento, la calidad del agua, temperatura, el estado y el tamaño de los peces, se pueden utilizar las tablas ya tabuladas como la mencionada anteriormente para realizar un cálculo estimativo de la ración diaria. Es recomendable es que se realicen muestreos talla-peso (Figura 22) para estipular un peso y una talla promedio de las truchas en cultivo, y así determinar de modo más confiable la dosis de alimentación, basándose en las tablas.



Figura 22. Imagen A muestreo de peso. Imagen B muestreo de talla.

4.3 La metodología de muestreo

Como se mencionó anteriormente los muestreos talla-peso son muy importantes durante nuestro cultivo para así poder estimar de modo confiable la ración de alimento que se les debe proporcionar a los individuos en cultivo; además estos nos permiten hacer una rápida inspección ocular para constatar que los peces se encuentren sanos. Se debe tener en cuenta que estos muestreos traen como consecuencia un alto nivel de estrés para las truchas por lo que no se recomienda hacerlos periódicamente. Existen diversos métodos para llevarlos a cabo, a continuación se detallaran dos de ellos:

- El muestreo de peso se puede realizar colocando en una balanza un recipiente con agua (preferentemente a la misma temperatura que la de cultivo, para disminuir el nivel de estrés), luego se tara la balanza, se coloca el individuo a pesar y se toma el dato, si la balanza no tiene la función para tarar se toma el peso del recipiente más el agua, luego se coloca el peces dentro del mismo y al peso final que arroja la balanza se le descuenta el peso del recipiente más el agua. Para realizar el muestro de talla, se toma una regla y se coloca el pez por encima de esta, la longitud se toma desde la cabeza hasta el final de la cola. Cabe resaltar que no es conveniente realizar este muestreo con el pez “despierto” ya que esto implica una gran manipulación, estrés y posiblemente el animal se lastime al moverse.
- Otro modo de realizar ambos muestreos de forma más segura para el individuo y con menos estrés es “durmiéndolos”, el proceso es muy simple de realizar y solo necesita 1 balde en el cual se coloca una solución química para dormir a los individuos y otro solo con agua (en lo posible con la misma T° de cultivo) para “despertarlo”. En el mercado existen diversos productos químicos con los cuales se puede dormir a los peces pero se debe tener en cuenta de la mayoría de estos puede llegar a tener efectos cancerígenos en el humano a la hora de consumir el pez, como por ejemplo: MS 222 (tricaína metano- sulfonato) y Quinaldina (2-4 metilquinoleína); La Benzocaína (etil-4-aminobenzoato) es un polvo blanco y cristalino, inocuo tanto para los peces como para los humanos. Es insoluble en agua, por lo que es necesario disolverlo primero en acetona o etanol (alcohol etílico) antes de mezclarlo en agua. Este químico se utiliza en soluciones de entre 20 y 30

mg/l para un corto período de manipulación (suficiente para realizar el muestreo). Primero se prepara una solución estándar que contiene 100 g/l, disolviendo para ello 100 g de polvo de benzocaína en un litro de acetona o etanol (esta solución concentrada se puede almacenar en una botella oscura), (Coche, 1998).

Ejemplo: Para preparar una solución de anestésico de benzocaína de 30 mg/l en un depósito que contenga 200 L de agua necesitará:

30mg. De benzocaína	→	1 litro
6000mg. De benzocaína =	→	200 litros

$$(200 \times 30) / 1 = 6000 \text{mg} = 6 \text{gr. De benzocaína}$$

Es decir, que si tomamos la solución estándar de 100gr/l, previamente preparada:

100 gr. de benzocaína	→	1L de solución
6 gr. De benzocaína =	→	0,06L de solución

$(6 \times 1) / 100 = 0,06 \text{L} = 60 \text{ ml. de solución estándar}$ para preparar 200 L de agua con 30mg/l de benzocaína.

Una vez preparada la solución diluida se coloca el pez en ella, se espera unos segundos a que el mismo quede con la parte ventral así arriba y se procede a pesarlo y medirlo tal como se muestra en la figura 22 antes mencionada. Una vez muestreado se lo deposita en un tanque que contiene solo agua con aireación hasta que el pez despierte y se lo devuelve al tanque de cultivo.

Es recomendable que más allá del método que se utilice para obtener los datos talla-peso no se alimente a los peces al menos un día antes y un día después del mismo, para evitar mayor estrés y posibles mortalidades. No es necesario muestrear a todos los individuos del cultivo, con tomar una pequeña fracción representativa es suficiente para tener una estimación y poder calcular la ración correcta de alimento a entregar diariamente.

4.4 Parámetros óptimos para cultivo de Trucha Arcoíris descritos por Maíz (2010):

- Concentración de oxígeno, la demanda de oxígeno aumenta conforme aumenta la actividad del pez, en el caso particular de la trucha arco iris tiene una gran actividad y por ende mayor consumo de O₂. Se ha observado en condiciones experimentales, que este aumento de consumo se da hasta los 20°C aproximadamente, para disminuir a temperaturas superiores, lo que hace disminuir el metabolismo y debilita al pez. Es por ello que se recomienda que al sobrepasar la temperatura los 20° C se debe disminuir e incluso suprimir la alimentación ya que los peces pierden al parecer la capacidad de aprovechar el O₂, aunque el agua esté 100 % saturada. (Revenga 2018). El nivel de oxígeno se debe mantener superior a 7.0 ppm en la entrada de los tanques y no inferior a 5.0 ppm en la descarga.

- Temperatura óptima del agua para el cultivo: la trucha es una especie que habita en aguas de bajas temperaturas requiriéndose de 9-12 °C para la producción de alevines y de 12-18 °C para el engorde, la temperatura óptima para el engorde es de 15 °C. En la tabla 5 se puede apreciar como el cambio de temperatura influye en el crecimiento.
- El pH debe encontrarse entre 7 y 8.5 para que los peces puedan desarrollarse correctamente.
- En la tabla a continuación se muestran los parámetros óptimos de algunos componentes nitrogenados, oxígeno, % de proteína en alimentos y el tiempo estimado de crecimiento:

Parámetros para cultivo de Trucha Arcoiris					
T° óptima	NAT (mg/l)	Nitrato (mg/l)	Oxígeno (mg/l)	%Proteína en alimento	Tiempo de crecimiento
14 a 15 °C	<0,5	<0,3	>6	42	1 Kg en 15 meses

Temp del agua (°C)	Peso inic. (gr)	Peso de las truchas (gr) en relación con el tiempo en días						
		30	60	90	120	150	180	210
11	4.6	8.3	19.5	34.2	62.0	92.2	139.8	199.4
13	4.6	11.5	25.4	47.6	87.0	130.4	192.0	294.1
15	4.6	14.0	33.0	58.0	100.0	159.0	237.0	338

Tabla 5. Influencia de la temperatura de cultivo sobre la Trucha Arco iris. Fuente: Maíz, 2010.

5. DIMENSIONAMIENTO DE LOS 3 BLOQUES A ESCALA FAMILIAR

A continuación se detallará la metodología utilizar si se desea realizar una producción acuaponica a pequeña escala. Se plantea una producción inicial de 500 truchas, con un peso final de 400gr. c/u y una producción de vegetales variados, se debe tener en cuenta que el rendimiento final de los mismo dependerán de si se cultivan vegetales de hoja o de fruto, la presencia o no de un invernadero y de la época en la cual se desarrollara.

5.1 Bloque para peces

Durante el cultivo para mantener a los peces sano y que tengan un crecimiento óptimo se debe prestar especial atención a la calidad del agua, la densidad de cultivo y su alimentación. Los parámetros de calidad de agua a controlar son todos los ya mencionados: pH, temperatura, NO₃ y OD en la tabla 6 se resume los rangos óptimos para su cultivo.

PARAMETROS OPTIMOS DE CULTIVO		
Oxígeno disuelto (OD)		Mayor a 7ppm
pH		7-8,5
Temperatura (°C)	Alevines	9-12°C
	Engorde	12-18°C
Concentración de nitritos (NO ₂)		Menor a 0,6mg/L
Profundidad del tanque	Alevines	60-80cm
	Engorde	Mayor a 90cm

Tabla 6. Rangos óptimo para el cultivo de *Oncorhynchus mykiss*.

En cuanto a la densidad de cultivo, tal como se mencionó anteriormente para los alevines de hasta 10gr. es recomendable mantenerla por debajo de 7- 8 kg/m³. Si el cultivo lo iniciamos con 500 alevines de 2gr., nuestra biomasa total es de 1000gr; Es decir que para mantener la proporción de densidad se necesita un tanque de cultivo de al menos 143L. Nunca es conveniente trabajar con las densidades al límite ya que si ocurre algún imprevisto (Ej. cortes de luz) nuestro sistema agotara en poco tiempo el OD, causando una alta mortalidad. Por ello se recomienda comenzar el cultivo con dos peces de 80L, o un tanque de 200L. Una vez que los peces se encuentren superando los 10gr. su densidad de cultivo se puede aumentar, pero esta nunca debe exceder los 23 Kg/m³. Se recomienda calcular el tamaño del tanque de cultivo teniendo en cuenta la biomasa final esperada, y considerando la mortalidad. Si se fija una mortalidad del 7%, al finalizar nuestro cultivo tendremos 465 peces de 400gr. c/u, lo que es igual a una biomasa total de 186kg. para lo que se necesitara un volumen total de 8086,9L., por lo que se recomienda trabajar con tanques/piletas de 9000L. los cálculos necesarios para estimas los litros del tanque para cultiva se ilustran en la figura 23.

Densidad para alevines	
1 Pez	2 Gr.
500 Peces	1000 Gr.
7000 gr.	1000 Litros
1000 gr.	142,8571429 Litros

Densidad para etapa de engorde	
1 Pez	400 Gr.
465 Peces	186000 Gr.
23000 gr.	1000 Litros
186000 gr.	8086,956522 Litros

Figura 23. Cálculos para determinar la cantidad de litros necesarios en cada etapa del cultivo.

Para estimar la cantidad de alimento a utilizar es conveniente realizar una proyección de crecimiento. Para ello se necesita contar con rango estimado de las temperaturas que se tendrán durante los meses de cultivo, la tasa de crecimiento y la tasa de conversión de alimento. Estos dos últimos datos se encuentran tabulados en tablas muy sencillas de utilizar. En el anexo I se muestra la tabla a utilizar para realizar los cálculos correspondientes, en el anexo II se muestra la tabla confeccionada para la proyección de crecimiento y la ración de alimento a entregar cada día. Para la estimación de temperaturas mes a mes se tomó como base los registros obtenidos de un cultivo acuaponico experimental realizado en el Centro de Investigación Aplicada y Transferencia Tecnológica en Recursos Marinos Almirante Storni (CIMAS), San Antonio Oeste, Rio Negro, Argentina durante periodo 2018-2019.

Durante la etapa de alevinaje se puede optar por cultivar los peces en peceras con aireación, filtros dentro de la pecera y realizando recambios diarios de agua o se puede utilizar esta etapa para ayudar a la maduración del biofiltro que se utilizara durante la etapa de engorde y así evitar los grandes gastos que conlleva los recambios diarios de agua. Si se opta por esta última opción se deben realizar las conexiones correspondientes entre los tanques de cultivo y el filtro mecánico y el biofiltro.

5.2 Bloque de filtro

Tal como se mencionó anteriormente, es indispensable colocar a la salida del tanque de cultivo un filtro mecánico para la retención de la materia orgánica sólida. Este filtro puede ser confeccionado de modo muy sencillo con un barril de 200L y colocando dentro un recipiente menor, como por ejemplo un balde de 20L sin fondo. Con un codo de 1 ½” se genera un flujo en espiral descendente (flujo radial) provocando así que la materia orgánica se deposite en el fondo, tal como se muestra en la figura 3 y por rebalse se obtiene el agua libre de residuos sólidos, la cual pasara al biofiltro.

Para el dimensionamiento del biofiltro se requiere realizar unos cálculos muy simples que se describen a continuación (Cálculos modificados de Revenga, 2018):

1ro) Cálculo de biomasa final (BM):

$$BM = \text{kg} \cdot n$$

$$BM = 0,4 \text{kg} * 465 \text{ peces} = 186 \text{ kg}.$$

2do) N-total producido por el sistema diariamente (N-total):

$$N\text{-total} = \text{kgr. de alimento} * \% \text{proteico} * 0,092$$

$$N\text{-total} = 2,8 \text{ kgr.} * 0,45\% * 0,092 = 0,12 \text{ kgr. de N-total/día} = 120\text{gr/día}$$

3ro) Determinación de superficie filtrante (SF):

$$SF = (N\text{-total} * 1) / \text{tasa de nitrificación}$$

$$SF = (120 \text{ gr/día} * 1) / 0,7 \text{ gr/m}^2/\text{día} = 171,42 \text{ m}^2$$

Nota: se toma 0,7 gr/m³/día, ya que se estima una temperatura promedio de 15°C.

4to) Volumen del biofiltro (VF):

$$VF = SF / (\text{relación superficie/volumen})$$

$$VF = 171,42 \text{ m}^2 / 150 \text{ m}^2/\text{m}^3 = 1,14 \text{ m}^3 = 1.142 \text{ L}$$

150 m²/m³ es la relación estimada para tapas rosca, si desea si pueden utilizar otros materiales con mayor relación superficie/volumen.

$$* \text{ Roca volcánica } 300 \text{ m}^2/\text{m}^3 \longrightarrow VF = 171,42 \text{ m}^2 / 300 \text{ m}^2/\text{m}^3 = 0,572 \text{ m}^3 = 572 \text{ L}$$

$$* \text{ Biobolas } 600 \text{ m}^2/\text{m}^3 \longrightarrow VF = 171,42 \text{ m}^2 / 600 \text{ m}^2/\text{m}^3 = 0,28 \text{ m}^3 = 285 \text{ L}$$

5.3 Bloque para vegetales

Para el dimensionamiento de nuestro cultivo vegetal primero se debe establecer que plantas se cultivaran para así escoger el mejor diseño hidropónico dependiendo de las necesidades que los vegetales poseen. A continuación se realiza un breve detalle de los 3 tipos de sistemas y cuál es el más adecuado para cada especie.

* NFT (Nutrient Film Technique): plantas de tallo corto o de hojas (lechuga, acelga, albahaca, perejil, berro, ciboulette, etc.)

* Raíz flotante o balsa: plantas de bajo tamaño y algunas plantas aromáticas (romero, orégano, perejil, albahaca, etc.)

* Sistema de lecho de sustrato: plantas que necesitan buen sostén por su peso (tomates, pimientos, etc.) especies rastreras o con tubérculos (zapallos, melones, cebollas, remolachas, zanahorias, etc.) o bien, son empleados en condiciones climáticas adversas, como los vientos.

Por otro lado, para calcular el espacio necesario se debe tener en cuenta que por cada 60 a 80 gramos de alimento que se suministre al cultivo de peces, puede fertilizar hasta 1m² de cultivo hidropónico, lo que equivale entre 25 y 30 vegetales de hoja. Esta proporción se ve disminuida en el caso de vegetales con fruto, tubérculos y rastreras.

Según la proyección de crecimiento realiza (anexo II) se calcula que al final del cultivo la cantidad entregada de alimento será 202.000gr. por lo que se calcula que se podrían nutrir un total aproximado de 63000 vegetales durante el periodo de cultivo de las truchas. En la tabla 7 se detalla la cantidad de plantas que se pueden cultivar por m², su tiempo de cosecha y el espacio mínimo que se debe dejar entre una planta y otra.

Cultivo	Días Después de Siembra (DDS)			Centímetros entre		Producción por m ²
	Germinación	Trasplante	Cosecha	Surcos	Plantas	
Acelga	7 a 14	30 a 35	70 a 75	15 a 20	15 a 20	25 unidad.
Albahaca	5 a 8	25 a 30	60	20-30	20-30	3 a 4 kg
Apio	8 a 15	50 a 55	60 a 75	17-20	17-20	35 unidad.
Brócoli	3 a 8	22 a 25	85	25-30	25-30	N.D.
Cebolla	6 a 10	40 a 45	65 a 70	10-15	10-15	6 a 8 kg
Cebollino	6 a 12	40 a 45	60 a 65	10-15	10-15	15 rollos/mes
Coliflor	3 a 8	22 a 25	90	25-30	25-30	N.D.
Culantro	10 a 15		50 a 55	a chorro	15-20	25 rollos
Chile	4 a 12	35	80 a 85	30-50-	100-120	15-20/plant
Lechuga	3 a 5	22 a 25	35 a 45	25	25	20-25 unid
Pepino	3 a 5	12 a 14	45 a 50	100-120	25-30	N.D.
Perejil	10 a 18	40 a 45	50 a 55	5-10	10-15	15 rollos
Puerro	6 a 12	40 a 45	60 a 65	10-12	12-15	15 rollos/mes
Rábano	3 a 5		35 a 45	15-20	5	20 rollos
Remolacha	6 a 10	30 a 35	60 a 65	10-15	10-12	30 unidades
Repollo	3 a 8	22 a 25	60 a 65	25-30	25-30	10-12 kg
Tomate	4 a 12	25 a 28	80 a 85	40-60	120-140	5 a 8 kg/planta
Vainica	3 a 6		45 a 50	20-25	20-25	4-5 kg
Zanahoria	7 a 15		90 a 95	A chorro	15-20	N.D.
Zuchini	3 a 5	12 a 14	45 a 50	40-50	50-60	N.D.

Tabla 7. Tiempo de cultivo, distancia y rendimiento de los vegetales frecuentemente cultivados fuente: Díaz, 2004.

6. ACUAPONIA EN LAS ESCUELAS

Para lograr completar los objetivos propuesto en el presente trabajo se realizaron dos charlas a en escuela secundaria N° 98 de la ciudad de Las Grutas con alumnos de 2° año (Figura 24).

Para que la experiencia sea más enriquecedora se llevó un módulo acuaponico a pequeña escala confeccionado con un barril de 200L reciclado de una industria local, como tanque de peces, un recipiente de 60L el cual contenía piedra pómez las cuales cumplen la función de biofiltro,

además conformar el sistema de lecho de sustrato (unidad hidropónica) para el soporte de los vegetales; Una bomba sumergible para cerrar el ciclo del sistema; 2 peces de la especie *oncorhynchus mykiss*; diversos vegetales entre los cuales se encontraban: perejil (*Petroselinum crispum*), cebollín (*Allium schoenoprasum*), rucula (*Eruca vesicaria*) y un ejemplar de la planta no comestible mala madre (*Chlorophytum comosum*) para visibilizar a la acuaponia también como una práctica ornamental.

Durante la presentación brindada a ambos cursos se les explico que es la acuaponia, como es su funcionamiento, y por qué esta técnica promueve una alimentación sana y fomenta el cuidado el medio ambiente. Se generó un espacio con preguntas por parte de los alumnos sobre el cuidado de los peces bajo cultivo y como ellos podría comenzar a llevar adelante un módulo acuaponico, además de un gran interés por parte de los profesores de esta escuela secundaria por este novedoso método de cultivo (Figura 25 y 26).



Figura 24. Presentación oral a alumnos de 2° años de la escuela secundaria N°98- Las Grutas.



Figura 25 y 26. Muestra de un módulo de acuaponia a pequeña escala y su funcionamiento.

CONCLUSION

Teniendo en consideración todos puntos tratados en el presente trabajo cabe destacar que la acuaponia puede ser implementada a cualquier escala según se requiera pudiéndose realizar en áreas reducidas por su amplia capacidad de adaptarse a cualquier espacio y sitio. Sería conveniente el fomentar esta actividad en aquellas zonas que presenta suelo no fértiles o con baja disponibilidad de agua ya que gracias al sistemas de recirculación se disminuye notablemente la cantidad de agua a utilizar.

Tanto la técnica empleada para su construcción y mantenimiento diario es simple lo que permite que toda la familia pueda participar sin importa su edad, conocimientos previos o su género. Es una práctica económica ya que pueden reciclarse materiales para su construcción como contenedores, tapas plásticas, caños etc. Todos los materiales a utilizar son de fácil acceso.

Si bien se puede establecer un costo inicial aproximado, este se difícil de cuantificar, ya que dependerá de los insumos que no se tengas disponibles, es decir de los que se deban comprar para comenzar con el cultivo. Una gran ventaja frente a este punto es que todos los gastos necesarios para montar el sistema se realizan una sola vez, luego en ese mismo sistema se puede continuar cultivando la cantidad de veces que desee con costos minúsculos.

El bajo impacto ambiental que esta actividad genera es un punto importante de recalcar ya que no se elimina agua contaminada a los cauces naturales, no se deteriora el suelo, el consumo de energía generado es mínimo, ya que se usa la gravedad para desplazar el agua desde un sitio a otro y sólo una bomba para producir la recirculación. Si se desea esta bomba podría ser conectada a pantallas solares lo que conduciría a un gasto de energía eléctrica de cero.

La obtención de alimentos de origen animal y vegetal a partir de una misma fuente de N lleva a que nuestro sistema sea íntegramente orgánicos, no se utilizan fertilizantes o pesticidas químicos, los controles de plaga se realizan de modo natural.

Si realizamos como comparación en los rendimientos del cultivo de plantas en acuaponia e hidroponía, este puede ser igual o incluso superior en la acuaponia, resaltando que en esta no se

requiere del preparado de soluciones nutritivas. Mientras que la producción de peces es mayor y más saludables en la acuaponia que en una producción acuícola.

Tabla de Alimentación para Trucha Arco Iris

Ración diaria expresada en porcentaje del peso corporal para distintos tamaños y temperaturas (SFR)

Peso (gr)	0 - 0,18	0,18 - 1,50	1,50 - 5,15	5,15 - 12,03	12,03 - 23,10	23,10 - 39,22	39,22 - 61,73	61,73 - 91,74	91,74 - 131,60	131,60 - 178,60	178,6 y +
Long. (cm)	0 - 2,5	2,5 - 5,1	5,1 - 7,6	7,6 - 10,2	10,2 - 12,7	12,7 - 15,2	15,2 - 17,8	17,8 - 20,3	20,3 - 22,9	22,9 - 30,5	30,5 y +
Temp. C°											
2,2	2,7	2,2	1,7	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4
2,8	2,7	2,3	1,8	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4
3,3	2,9	2,4	2,0	1,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5
3,8	3,0	2,5	2,2	1,7	1,3	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5
4,4	3,2	2,6	2,2	1,7	1,3	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
5,0	3,3	2,8	2,2	1,8	1,4	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
5,6	3,5	2,8	2,4	1,8	1,4	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
6,1	3,6	3,0	2,5	1,9	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
6,7	3,8	3,1	2,5	2,0	1,5	1,3	1,0	0,9	0,8	0,8	0,6
7,2	4,0	3,3	2,7	2,1	1,6	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
7,8	4,1	3,4	2,8	2,2	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7
8,3	4,3	3,6	3,0	2,3	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7
8,8	4,5	3,8	3,0	2,4	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8
9,4	4,7	3,9	3,2	2,5	1,9	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8
10,0	5,2	4,3	3,4	2,7	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9
10,6	5,4	4,5	3,5	2,8	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9
11,1	5,4	4,5	3,6	2,8	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9
11,7	5,5	4,7	3,8	2,9	2,2	1,8	1,5	1,3	1,1	1,1	1,0
12,2	5,6	4,9	3,9	3,0	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0
12,8	5,8	5,1	4,2	3,2	2,4	2,0	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0
13,3	6,1	5,3	4,3	3,3	2,5	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0
13,8	6,3	5,5	4,5	3,5	2,6	2,1	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1
14,4	6,7	5,8	4,8	3,6	2,7	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2
15,0	7,0	6,0	5,0	3,7	2,8	2,3	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2
15,6	7,3	6,3	5,1	3,9	3,0	2,4	2,0	1,7	1,5	1,4	1,3
16,1	7,5	6,3	5,3	4,1	3,1	2,5	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3
16,7	7,8	6,5	5,5	4,3	3,2	2,6	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4
17,2	8,1	6,7	5,7	4,5	3,4	2,7	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4
17,8	8,4	7,0	5,9	4,7	3,5	2,8	2,2	1,9	1,7	1,6	1,4
18,3	8,7	7,0	6,1	4,9	3,6	2,9	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5

