



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE
ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS



Note
[Handwritten signature]

CARRERA:

TÉCNICO EN PRODUCCIÓN PESQUERA Y MARICULTURA

GON
ISO7

**INFORME SEMINARIO OPTATIVO: TECNICAS Y METODOS DE
ACUARIO**

***“DIMENSIONAMIENTO Y CONFECCION
DE BIOFILTRO DE LECHO FLUIDIZADO
CON ROCA VOLCÁNICA- PIEDRA
POMEZ.”***

Nombre del alumno: Gabriela Alejandra Gonzalez.

Nombre de los docentes: Víctor Hugo Fernández Cartes,

Luis Alberto Quiroga.

Fechas: 05 de Julio de 2019.

Lugar: San Antonio Oeste. Rio Negro.

INDICE

1. Introducción	1
1.1 Sistemas de Recirculación Acuicola (SRA),	1
1.2 Existen una amplia gama de filtros en la acuicultura	1
1.3 Bacterias nitrificantes – biofilm-	6
1.4 Sustrato para la fijación de las bacterias: Piedra pómez	7
1.5 Control de pH y oxígeno disuelto en función de la temperatura.	8
1.6 Piedra caliza	9
2. Objetivos	10
2.1 Objetivo general	10
2.2 Objetivo específico	10
3. Dimensionamiento	11
3.1 Cálculos para el dimensionamiento	11
4. Diseño	13
5. Discusión	14
6. Bibliografía	15
7. Anexo	18
7.1 Figuras	18
7.2 Tablas	23

1. INTRODUCCION

Los primeros reportes del uso de los sistemas de biofiltración datan de 1.923 y se utilizaron para remover el azufre proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales. Estos biofiltros fueron sistemas abiertos en los que se empleaba suelo poroso como soporte (Cardenas y Gutierrez, 2003). Los biofiltros, también denominados filtros biológicos, son dispositivos que eliminan una amplia gama de compuestos contaminantes desde una corriente de fluidos, aire o agua, mediante un proceso biológico (Márquez, 2010).

El agua residual pasa través de un medio filtrante donde un grupo de bacterias u otros microorganismos, se desarrollan progresivamente adhiriéndose al empaquetado o medio filtrante formando una película biológica (biofilm, concepto que se desarrollara más adelante en el presente informe) que precisamente permite la degradación biológica de la materia orgánica (Cáceres y Fong, 2006).

1.1. Sistemas de Recirculación Acuícola (SRA): Estos se han comenzado a aplicarse desde hace más de treinta años, principalmente en los países en desarrollo, 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 Bello, 2016). Los SRA, son sistema a través del cual se pueden cultivar organismos acuáticos en forma intensiva, en pequeños espacios para lograr altas producciones. Para llevar a cabo este objetivo es necesario contar con filtros para la eliminación de sustancias y organismos indeseables en el agua de cultivo.

1.2. Existen una amplia gama de filtros en la acuicultura:

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

Filtros de arena: son un tipo de filtro mecánico que consisten en una capa de arena o cualquier otro material particulado a través del cual se fuerza el paso del agua, quedando así atrapadas partículas más grandes en los espacios entre grano y grano de arena. Los tamaños de partícula de arena varían de 2 a 0,02mm. Sin embargo, si se reemplaza la arena por roca, carbón, grava o cualquier otro material se extiende el tamaño de partículas hasta lograr dimensiones mayores. Se puede utilizar tierra de diatomeas, arcilla o materiales similares para reducir el tamaño de las partículas hasta micras (Merino y Sal; 2007).

Filtros de gravedad: Utilizan la fuerza de gravedad para extraer partículas de un fluido. Existen tres técnicas de separación gravitacional: sedimentación, centrifugación y la hidroclona. La sedimentación es el proceso de permitir que el material particulado, que tenga una mayor densidad que el líquido que lo rodea se asiente. La centrifugación se usa para incrementar la fuerza gravitacional de las partículas durante su asentamiento. En el mercado hoy en día se encuentran centrifugas de flujo continuo e intermitente, las primeras se utilizan en los sistemas acuáticos. En la hidroclona el agua entra tangencialmente por la parte superior de la unidad, creando un espiral líquido. El flujo rotacional hace que el material particulado más pesado se desplace hacia afuera a las paredes de la hidroclona (Merino y Sal, 2007).

Filtros químicos: son principalmente unidades de adsorción; está se define como un proceso de acumulación o concentración de sustancia en una superficie o interfase. Dentro de estos filtros se encuentran los de carbono activado y los de fraccionamiento de espuma.

Los filtros de carbono se emplean para eliminar productos orgánicos de excreción (Coll Morales, 1991, tomado de Merino y Sal 2007) y se los dividen en dos categorías según su principio de funcionamiento: filtro químicos de flujo intermitente o de flujo continuo; los primeros consisten en un tanque que se llena con carbono activado granulado. Primero el agua se bombea al tanque y luego la mezcla agua-carbón se bate para incrementar la razón de adsorción, se deja reposar y finalmente el agua purificada se drena. El carbono se puede desechar o regenerar, es útil en sistemas pequeños. En cambio en los de flujo continuo si bien son similares a los de flujo intermitente, la diferencia radica en que el agua ingresa continuamente por un extremo del tanque, pasa por el carbono y sale por el extremo opuesto (Merino y Sal, 2007).

Fraccionamiento de espuma (skimmer): Se emplean para eliminar proteínas y lípidos mediante la producción de espumas. Básicamente su funcionamiento es el siguiente: Se inyecta aire a través de un difusor y sube por una columna mezclándose con el agua. El oxígeno del aire oxida y coagula la materia orgánica disuelta. El material solidificado va formando una capa de espuma en la superficie que se traslada a un recipiente el cual se limpia periódicamente. (Coll Morales; 1991, tomado de Merino y Sal 2007).

Filtros biológicos: Su funcionamiento se basa en el principio de la biofiltración la cual consiste en un sistema de purificación encargado de la separación de partículas y microorganismos mediante medios porosos o granulares dejando de lado la utilización de procesos fisicoquímicos.

La importancia en la piscicultura de este tipo de filtro radica en que los peces excretan varios productos nitrogenados tóxicos por difusión e intercambio iónico a través de las branquias, orina y heces, como consecuencia de su metabolismo de las proteínas ingeridas y la descomposición orgánica de los desechos sólidos en el sistema (Losordo, 1998, tomado de Merino y Sal 2007). El principal objetivo de los biofiltros es el transformar 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. Dicho proceso, es realizado por un grupo de bacterias que se alojan en el sustrato de los filtros biológicos obteniéndose como resultado final, nitratos (NO_3^-) (Bernal Melo, s/f), este componente inorgánico es el menos tóxico dentro de los compuestos nitrogenados; dependiendo de la especie de peces bajo cultivo, ellos no alcanzarán a ser tóxicos, sino hasta llegar a los 300ppm (Masser; 1999).

La descomposición de estos compuestos nitrogenados es especialmente importante debido a la toxicidad del amoníaco, nitrito y en algún grado el nitrato (Wheaton, 1985). El proceso de la remoción de nitrógeno amoniacal en un filtro biológico se denomina nitrificación, y consiste en la sucesiva oxidación del amoníaco primero a nitrito y finalmente a nitrato (Figura 1). También existe un proceso de reducción anaeróbica de nitrato a nitrógeno molecular gaseoso denominado desnitrificación (Merino y Sal, 2007).

Tal como se mencionó anteriormente el amonio no ionizado (NH_3) es extremadamente tóxico para los peces, y su cantidad depende del pH y la temperatura del agua; un aumento del pH o temperatura da como consecuencias un aumento de esta forma no ionizada del NAT, aumentando la proporción de nitrógeno tóxico (Merino y Sal, 2007),

(Tabla 1); si bien no se encuentran definidos los efectos sub-letales del este compuesto concentraciones bajas desde 0,02 a 0,07 mg/L han demostrado reducir el crecimiento y provocar daños en los tejidos branquiales en especies de aguas cálidas (Masser, 1999). La importancia y los modos de controlar el pH serán explicados más adelante en el presente trabajo.

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 todas esas ideas, cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas y áreas de mejor aplicación, (Merino y Sal, 2007). A continuación, se detallan los diversos tipos de biofiltros:

Biofiltros Sumergidos: consiste en un lecho de medio de soporte sobre el cual se desarrollan las bacterias nitrificantes, a través de este lecho pasa el agua residual ya sea en un flujo ascendente o descendente. Los sólidos se pueden acumular dentro del filtro sumergido, junto con la masa celular producto del crecimiento de bacterias nitrificantes y heterotróficas, este proceso puede bloquear los espacios vacíos, es por ello que debe usarse algún mecanismo para desagotar los sólidos del filtro. 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 (OD) y acumulación de sólidos, por estar muy recargados de materia orgánica y de la dificultad de retro-enjuague (Merino y Sal, 2007).

Biofiltro de lecho móvil o dinámico: este no es más que una variación del biofiltro sumergido que consiste en utilizar pequeñas formas de polietileno flotantes (7mm de largo y 10mm de diámetro), en una cama sumergida bien aireada (Rusten et al., 1998). El medio tubular tiene aletas internas y externas para aumentar la superficie, y una sección interior dividida para proteger la biopelícula de su total remoción por la agitación del movimiento del lecho. La intensa aireación mantiene el lecho en permanente movimiento y minimiza los problemas de oxigenación y acumulación de sólidos (Merino y Sal, 2007).

Biofiltros 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 (Wheaton et al., 1991 tomado de Merino

y Sal 2007). Ya que los espacios vacíos son rellenados con aire en lugar de agua, las bacterias nunca entran en carencia de este. Son fáciles de construir y operar, son auto-aireantes, muy efectivos para desgasificar dióxido de carbono (CO_2). Pero hoy en día la mayoría de los filtros usan un medio plástico, por su bajo peso, área específica y alta fracción de hueco. Estos no han sido utilizados en sistemas de agua fría de gran escala, probablemente debido a las bajas tasas de desnitrificación a esas temperaturas y la relativamente baja superficie específica del soporte (Merino y Sal, 2007).

Contactadores Biológicos Rotatorios (CRB): estos operan rotando el medio de soporte del filtro, que consiste en discos o tubos colocados dentro de un estanque que contiene el agua residual. La película bacteriana en el medio rotatorio está expuesta alternativamente al agua residual y a la atmósfera, la que provee el oxígeno. El soporte está normalmente sumergido a un 40% del diámetro del tambor y es rotado a una velocidad de 1.5 a 2 rpm. Hoy en día los medios de soporte con más alta área de superficie específica son utilizados en la construcción de CRB, lo que reduce su tamaño físico y aumenta la capacidad de remoción del amoníaco y nitrito. Los CRB se han usado en sistemas de recirculación total, porque requieren muy poca altura hidráulica, tienen costos bajos de operación, provee intercambio gaseoso, y pueden mantener un tratamiento medioambiental aeróbico consistente. Además, tienden a ser más auto-limpiantes que los filtros de lecho fijo, la principal desventaja es la naturaleza mecánica de su operación y la ganancia sustancial de peso debida a la biomasa, resultando en una carga adicional en los ejes y rodamientos (Merino y Sal, 2007).

Filtros de Gránulos Sintéticos: Este se han convertido en el más popular de los biofiltros para el tratamiento de flujos pequeños a moderados, comúnmente menores que 1000 – 2000 L/min. Son filtros de relleno expandible que poseen un comportamiento de bioclarificación similar a los filtros de arena (Malone y Beecher, 2000, tomado de Merino y Sal 2007). Funcionan como un dispositivo físico de filtración o clarificador extrayendo los sólidos (Chen et al., 1993 tomado de Merino y Sal 2007), simultáneamente ofrece un sustrato para el crecimiento de bacterias, por tanto, también remueven los residuos del agua a través de biofiltración (Malone et al., 1993, tomado de Merino y Sal 2007). Son resistentes al ensuciamiento biológico y generalmente requieren de poca agua para su retrolavado, esto se realiza agitado mediante burbujas o por un agitador mecánico para expandir el lecho y separar los sólidos atrapados en los gránulos, estos son de polietileno con un diámetro de 3 – 5 mm. Las ventajas de estos filtros incluyen su diseño modular y

compacto, fácil de instalar y operar, además pueden ser usados como filtros de doble propósito para la remoción de sólidos y la nitrificación (Merino y Sal, 2007).

Biofiltros de Lecho Fluidizado: estos se han usado en muchas instalaciones de acuicultura comerciales de gran escala. La ventaja principal es que su medio de soporte tiene una superficie específica muy alta, normalmente de arena calibrada o gránulos de plástico muy pequeños. El biofiltro de lecho fluidizado es de fácil escalamiento a tamaños mayores, y su costo por unidad de tratamiento es bajo (Timmons et al., 2000). Ya que el costo de inversión del biofiltro es aproximadamente proporcional a su superficie estos son muy competitivos en el costo y son relativamente pequeños comparados a otros biofiltro; además son eficientes para la remoción del amoníaco, normalmente removiendo el 50 – 90% de este durante cada paso en aplicaciones de acuicultura de agua fría y moderadamente fría (Summerfelt et al., 2001, tomado de Merino y Sal 2007). Las tasas de nitrificación para los sistemas de agua fría van desde 0.3 a 0.6g de remoción de NAT/día/m³ de volumen de lecho expandido; en los sistemas de agua más tibia, los rangos de la tasa de remoción de NAT van desde 0.7 a 1 g/día/ m³ de volumen de lecho expandido (Revenge,2018), (Tabla 2). Las principales desventajas de los biofiltros de lecho fluidizado son su alto costo de bombeo de agua y el que no tiene capacidad de intercambio gaseoso como el de las torres de percolación y CBR. Otras desventajas son que pueden ser más difíciles de operar y tener serios problemas de mantenimiento, normalmente asociado a un pobre control de los sólidos suspendidos y el ensuciamiento biológico. En lechos fluidizados, el agua fluye a través de los espacios vacíos ya sea hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de la gravedad específica del medio de soporte. El lecho se fluidiza cuando la velocidad del agua a través de la cama es suficiente para suspender el soporte en la corriente, produciendo la expansión de su volumen. La turbulencia resultante mejora las velocidades de transferencia de masa de oxígeno, amoníaco y nítrico hacia y desde la biopelícula adosada al soporte sólido, también remueve el exceso de biomasa sobre las partículas fluidizadas. El resultado es una alta capacidad de nitrificación, pero un alto gasto energético típico de esta tecnología (Merino y Sal, 2007).

1.3 Bacterias nitrificantes –biofilm-

Un biofilm o biopelícula consiste en un ecosistema microbiano organizado, conformado por uno o varios microorganismos asociados a una superficie viva o inerte,

con características funcionales y estructuras complejas. Este tipo de conformación microbiana ocurre cuando las células se adhieren a una superficie o sustrato, formando una comunidad, que se caracteriza por la excreción de una matriz extracelular adhesiva protectora (Cornejo Soldevilla, 2015).

En el biofiltro a desarrollar en el presente trabajo, el biofilm que se formará sobre el lecho filtrante (piedra pómez) consistirá en bacterias que colectivamente ejecutan la nitrificación. Estas son generalmente catalogadas como bacterias quimio-autótrofas, ya que obtienen la energía de la oxidación de compuestos inorgánicos a diferencia de las bacterias heterótrofas que obtienen energía oxidando compuestos orgánicos (Hagopian y Riley, 1998). Las bacterias nitrificantes son principalmente autotróficas obligadas, que consumen dióxido de carbono, y aeróbicas obligadas, que requieren oxígeno para desarrollarse (Merino y Sal, 2007). Las bacterias que producen la oxidación del amoníaco obtienen su energía oxidando amoníaco no ionizado a nitrito, estas bacterias son de tipo Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosolobus y Nitrosovibrio. Mientras que las bacterias que producen la oxidación del nitrito al nitrato son: Nitrobacter, Nitrococcus, Nitrospira y Nitrospina.

En el presente trabajo se desarrollará la confección de un biofiltro del tipo de lecho fluidizado para ser utilizado en un sistema de recirculación acuícola (SRA) a pequeña escala, para ello se tomará como sustrato para la fijación de las bacterias nitrificantes rocas volcánicas del tipo Pumita / piedras pómez.

1.4 Sustrato para la fijación de las bacterias: Piedra pómez

El empaque filtrante puede consistir en un lecho de roca volcánico, piedra chancada o material plástico con configuraciones especiales. Todos los empaques utilizados como medio filtrante buscan maximizar la superficie de contacto sobre la cual se desarrolla la masa biológica (Tabla3) útil para el tratamiento de purificación de las aguas. En el biofiltro como anteriormente se mencionó, ocurren procesos de consumo de la materia orgánica; es decir, los microorganismos se nutren de las sustancias orgánicas contenidas en el líquido entrante y las asimilan, por lo que el efluente sale con menor carga contaminante. (Cáceres y Fong, 2006).

Para el desarrollo del biofiltro de lecho fluidizado que se confeccionará en el presente trabajo como medio filtrante se utilizara roca volcánica, piedra pómez; esta es una roca

ígnea volcánica vítrea, en su formación, la larva proyectada al aire sufre una gran descompresión, como consecuencia de la misma se produce una desgasificación quedando espacios vacíos separados por delgadas paredes de vidrio volcánico (Jackson *et al.*, 2005). Estas rocas son del tipo piroclásticos porosos, que se constituyen de vidrio en forma de espuma y se forman durante un enfriamiento muy rápido del magma ascendente de alta viscosidad. El término "piedra pómez" o "pumita" incluye todas las rocas piroclásticas porosas. Es inodora, no posee sales solubles en agua, su poder abrasivo es muy bajo, clasificada como material no peligroso, inerte, no representa riesgo para el medio ambiente (Álvarez, 2016). Además posee una baja densidad es decir que flota en el agua (Jackson, J.A, J.Mehl, and K. Neuendorf; 2005). Su porosidad le permite absorber y retener el agua, además de hacerla ligera y otorgarle condiciones particulares; todas estas características la hacen convenientes para utilizarlas en filtrado de diversas industrias, como en este caso de la acuicultura.

1.5 Control de pH y oxígeno disuelto en función de la temperatura.

Como se explicó anteriormente el amoníaco (NH_3) es extremadamente tóxico para los peces, y su cantidad depende del pH y la temperatura del agua; Es por ello que estos dos parámetros son claves para obtener un correcto funcionamiento de nuestro sistema de biofiltración. Además como los procesos biológicos que se llevan a cabo dentro de un biofiltro se realizan en condiciones aerobias (los microorganismos oxidan los compuestos nitrogenados consumiendo el oxígeno que se encuentra disuelto en el medio) resulta de gran importancia el control del oxígeno disuelto (OD) al que tienen acceso estos microorganismos para poder degradar la materia, siendo otro parámetro clave en la cinética de degradación de los contaminantes (Ibañez Abad; 2010).

Una concentración de oxígeno igual o mayor a 2 mg/l, da como resultado una tasa de nitrificación adecuada (Alarcón, 2017) si la concentración OD disminuye por debajo de este, las bacterias comienzan a no poder llevar adelante de forma correcta el proceso de oxidación de los compuestos inorgánicos.

La relación existente entre el OD y la temperatura es inversamente proporcional, es decir, a bajas temperaturas la concentración es mayor y a altas temperaturas la concentración de oxígeno disminuye, condición que según Timmons (2006) es exactamente contraria a lo que los peces necesitan para su metabolismo basal y conversión de alimento.

El modo de aumentar la cantidad de mg/l. de oxígeno presente en el biofiltro a medida que las bacterias lo van consumiendo, es inyectar oxígeno o en su defecto aire mediante un burbujeo constante y con burbujas pequeñas.

La alcalinidad, es decir el nivel de pH tienen un impacto importante en la eficiencia de conversión de NAT a nitritos y estos a nitratos. Cuando se tienen valores de pH menores que 4 (cuatro) se inhibe el proceso. La alcalinidad, entonces, tiene dos funciones: mantener niveles de pH por arriba del valor neutro, y para contrarrestar concentración de iones hidrógeno en el agua mediante un sistema buffer.

El rango de pH recomendado para la acuicultura es 6,5 a 9,0 (Wurts y Durborow, 1992). Si las lecturas de pH se encuentran fuera de este rango, se reduce el crecimiento de los peces. Con valores por debajo de 4,5 o por encima de 10, se producen mortalidades (Figura 2). En los sistemas de recirculación, la nitrificación producida por las bacterias en el biofiltro y la respiración de los peces disminuyen el pH (Buttner, 1993).

El agua pura expuesta al aire tiene un pH ácido de aproximadamente 5.6, porque los hidratos de dióxido de carbono en agua forman ácido carbónico, que se disocia a ion de hidrógeno y bicarbonato (HCO_3^-), (Sotomayor Bello, 2016). El intervalo óptimo de pH reportado para la nitrificación es 7,0 - 8,8. Este, está determinado por tres efectos que el pH ejerce sobre las bacterias nitrificantes: a) activación - desactivación, b) efecto nutricional asociados con la alcalinidad y c) la inhibición a través de amonio libre y el ácido nitroso libre, (Villaverde et al., citados por Saidu 2009). A un bajo pH y bajas temperaturas, el amonio se encuentra en su mayoría en su forma no tóxica, mientras que a altos valores de pH > 8.5 y altas temperaturas la fracción tóxica de NAT es alta.

Por ende se debe intentar mantener el pH a un rango que varía entre 7-8 de modo tal que tanto los peces como las bacterias pueden ejercer su actividad metabólica de un modo correcto, pero se debe tener cuidado que el pH no supere los 8,5 ya que estaríamos aumentando la fracción tóxica del NAT.

Para alcanzar el pH óptimo en el desarrollo del presente biofiltro se utiliza piedra caliza.

1.6 Piedra caliza y alcalinidad

La caliza es una roca sedimentaria compuesta en un 90% por carbonato de calcio (CaCO_3) que permite el paso del agua, es decir, es una roca permeable. Cuando el agua

penetra en la caliza se lleva a cabo el proceso de disolución, mediante el cual se disuelve el carbonato de calcio. Su densidad puede variar de acuerdo a la cantidad de restos fósiles y silicatos que ésta contenga, pero generalmente son ligeras (EcuRed; 2013). Al irse diluyendo el CaCO_3 se produce un proceso de alcalinización, es decir el pH dentro del biofiltro comienza a aumentar gradualmente. La alcalinidad es una medida de la capacidad de amortiguación del pH (tampón) de un sistema acuático. Se define también como la cantidad total de bases titulables en el agua expresadas como mg/L o equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3). Se estima que es necesario 7,14 g de alcalinidad por cada gramo de nitrógeno amoniacal reducido a nitrito (Timmons et al., 2002 tomado de Ramirez, 2015).

2. OBJETIVOS:

2.1. Objetivo general.

- Describir, caracterizar y confeccionar un biofiltro de lecho fluidizado con roca volcánica.

2.2 objetivos específicos.

- Confeccionar un biofiltro con rocas volcánicas (pumita) como lecho filtrante.
- Utilizar en la confección del biofiltro materiales de fácil acceso, económicos y/o reciclados.
- Dimensionar un biofiltro para un SRA a pequeña escala (escala de producción familiar).

3. DIMENSIONAMIENTO

Para que el funcionamiento del biofiltro sea el adecuado, su tamaño debe estar en relación con todo el sistema y en ocasiones este determinará la capacidad de carga del sistema. Cuando se habla del tamaño del biofiltro, se hace referencia a dos variables; su volumen y la superficie del medio filtrante contenido en dicho volumen. La tasa de nitrificación del filtro biológico (transformación de NH_3 en NO_3 por unidad de tiempo) debe igualar a la capacidad de producción de amoníaco por los peces (Revenga, 2018).

Para la confección se debe tomar en cuenta: la superficie del medio de soporte de bacterias (m² de superficie para la fijación de bacterias), cantidad de amoníaco que debe ser convertido por día / unidad de superficie, y caudal de agua por M² de superficie de medio de soporte del biofiltro por hora (= carga hidráulica del biofiltro). Para un buen funcionamiento la relación superficie /volumen de medio filtrante debe ser lo más alta posible, en general no menor de 150 M² / M³ de material (Revenga, 2018), es por ello que para la confección de este biofiltro se utilizara la piedra pómez (pumita) como soporte para las bacterias, esta presenta una relación superficie / volumen de aproximadamente 300 m²/m³ (FAO, 2014). Para los cálculos del biofiltro se tomó una tasa de nitrificación de 0,7 a 15°C (Revenga, 2018), ya que esta es la temperatura media para el sitio donde se va a poner en funcionamiento nuestro biofiltro (Costa norte de la Patagonia Argentina).

3.1 Cálculos para el dimensionamiento:

(Los cálculos realizados son modificaciones de Revenga 2018).

Biomasa (BM)

Ecuación 1.

$$BM = N * PF$$

N: Total de peces

PF: Peso individual a la hora de la cosecha

Alimentación (kgrA): Kilos de alimento diario

Ecuación 2.

$$KgrA = BM * TA / 100$$

TA: Tasa de alimentación

Superficie de filtración (SF)

Ecuación 3.

➤ Nitrógeno total en gramos(Ntg)

$$Ntg = \%P * KgrA * 0,092 / (100 * 1000)$$

%P: % de proteína presente en el alimento

Ecuación 4.

$$SF = Ntg * 1 /$$

Tn: Tasa de nitrificación a determinada temperatura.

Volumen del biofiltro (Vf)

Ecuación 5.

$$Vf = SF / Slf$$

Slf: superficie lecho filtrante

Ahora bien, si tiene en cuenta que solo contamos con 1 barril para ser utilizado como biofiltro se pueden hacer los cálculos a la inversa y determinar cuál es la capacidad filtrante de nuestro biofiltro a confeccionar. Así la capacidad de nuestro biofiltro va a ser la que nos indique la biomasa que se puede cultivar:

- $Vf = 200L = 0,2M^3$
- Relación superficie / volumen de piedra pómez = $300M^2 / M^3$
- tasa de nitrificación a $15^{\circ}C = 0.7 \text{ gr N-total}/M^2 / \text{día}$;

$$\begin{array}{l} 300 M^2 \longrightarrow 1 M^3 \\ \underline{60 M^2} = \longleftarrow 0,2 M^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 0,7 g \longrightarrow 1M^2 \\ \underline{42 g} = \longleftarrow 60 M^2 \end{array}$$

Según ecuación 3 de 18 kilos de alimento con 40% de proteína suministrados se excreta 662,4 N, entonces:

$$\begin{array}{l} 662,4g Nt \longrightarrow 18 \text{ Kilos de alimento} \\ 42g Nt \longrightarrow 1,14 \text{ Kilos de alimento} \end{array}$$

Si suponemos una tasa de alimentación (TA) de 1,6 (Tabla 4) y de la formula antes mencionada para calcular kilos de alimento se despeja biomasa se obtiene:

$$\frac{(\text{KgrA} * \text{TA})}{100} = \text{BM} \quad \Rightarrow \quad \frac{1,14 * 1,6}{100} = 71,3$$

Esto quiere decir que el biofiltro va a soportar la carga de nitrógeno tóxico producida por una biomasa de 71,3 kilos. Si se toma como peso a la hora de la cosecha 1 kilo por individuo, esto quiere decir que se pueden cultivar entre 70 y 72 peces.

4. DISEÑO Y CONFECCION

Para la confección del biofiltro se utilizará un barril redondo plástico con capacidad de trabajo de 200L. el cual será reutilizado por ser desecho de otra industria. Se debe perforar en el barril un agujero de 1 ½ pulgada la zona superior del mismo para la entrada del agua con los residuos y otro a la misma altura del lado opuesto de 2 pulgadas para el desagote del agua ya filtrada. En el agujero de entrada se conecta mediante una reducción, a un caño de PVC de 150mm. del mismo largo que el barril, por fuera del mismo por el cual ingresara el agua proviene de un filtro mecánico. Dentro de este tubo se colocará piedra caliza para permite que el agua se alcalinice antes de entrar al biofiltro; Conectado a este tubo en la parte interior de barril se debe instalar otro tubo de 1,5 pulgadas el cual lleva el agua hasta el fondo del mismo (Figura 3), donde va a ser liberada para una mejor distribución del agua dentro del biofiltro (Figura 4).

Conectado al agujero de salida, en el interior de barril se adicionará un filtro confeccionado por un tubo con una malla plástica de 1cm de lado, el cual se sujetará con precintos y en su extremo terminal se adicionará un tapón de PVC (Figura 5). La función del mismo es permitir la salida del agua filtrada e impedir la salir de las piedras pómez que se encuentran en el interior del barril. El agua ya filtrada retorna a tanque de cultivo.

Para lograr una correcta aireación dentro del biofiltro de colocaran mangueras conectadas a un aireador distribuidas por todo el barril (Figura 6).

Nuestro biofiltro queda confeccionado entonces por 7 secciones: Una entrada de agua, un tubo de 150mm para contener la piedra caliza, dos tubos de 1,5 pulgadas unidos mediante un codo, para llevar el agua al interior de barril. Un distribuidor de agua. Mangueras de aireación, un filtro de malla plástica, la salida del agua ya filtrada y la piedra pómez (Figura 7).

5. DISCUSIÓN

La construcción del biofiltro es sencilla, económica y evidentemente, tiene menos efectos negativos sobre el medio ambiente que los tratamientos de base química o incluso de otros materiales filtrantes para lecho fluidizado. El uso de material reciclado para su construcción (por ejemplo en este caso el barril que es el esqueleto de nuestro biofiltro) y materiales naturales, tanto piedra pómez (pumita) para brindarle a las bacterias el medio para fijarse y, la piedra caliza para el control de pH, es un método nuevo que se viene desarrollando tanto en la acuicultura, piscicultura, como en diferentes industrias hace pocas décadas.

Si bien la relación superficie/volumen no es tan elevada como la de algunos materiales plásticos contruidos para ser utilizados para este fin (Ej. bio-bolas), estos por lo general tienen un precio muy elevado en el mercado y además al ser de origen Chino y no tener industrias dedicadas a la construcción de estos en nuestro país o país cercanos, su valor incrementa aún más. Las biobolas no son reutilizables por lo que cuando su uso cesa se convierten en desechos contaminantes por su estructura plástica. En cambio, la pumita al ser un material de origen natural no tóxico, en el momento en que se quiera prescindir de su uso puede ser descartada sin ocasionar ningún efecto sobre los ambientes naturales.

La utilización de tapas plásticas de diversos envases resulta ser la alternativa más económica y además al ser un material reciclado ayuda a que los desechos disminuyan. Pero a los fines prácticos al tener una relación superficie/volumen demasiado baja lleva a que se deben diseñar biofiltros mucho más grandes y por ende su tiempo y dificultad de mantenimiento también aumenta. En el momento en que se quieran dejar de utilizar las tapas se vuelven a convertir en desechos.

En síntesis, los materiales a utilizar como lecho filtrante son muchos y con características muy variadas, todos presentan ventajas y desventajas en diferentes puntos; es por ello que se debe seguir investigando sobre el tema y evaluar cuál es el mejor material según la escala de piscicultura en la cual se quiera utilizar y la disponibilidad de materiales que hay en cada zona.

6. BIBLIOGRAFIA

Abad Ibañez Javier. (2010). *Desarrollo de microsensores de oxígeno disuelto para la caracterización de biopelículas*. Proyecto final de carrera. Barcelona, Cerdanyola del Vallès.

Alarcón Gallego Iván y Pulido García Daury (2017). *Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena*. Universidad Autónoma del Estado de México Centro Interamericano de Recursos del Agua.

Ana G. Trasviña Moreno, Margarita Cervantes Trujano Eunice Perez Sánchez y Michael Timmons. (2007) *Sistema de recirculación modular para uso familiar/multi-familiar*. Veracruz, México, Instituto Tecnológico de Boca del Río. ITBoca .

Bello Sotomayor Carlos Alberto (2016). *Análisis de la dinámica del oxígeno y el amonio en un sistema de recirculación con agua de mar, para el cultivo experimental de peces*. Tesis para optar el título de: Ingeniero Pesquero. Lima, Perú.

Caló Pablo (2011). *Introducción a la Acuaponia*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC).

Chávez Carlos H., Mora Z. Alejandra, Cabra Jorge A., Yesid Carmona, Revah Sergio, Gnecco Gonzalo (2004). *Biofiltración de Ácido Sulhídrico (H₂S), Utilizando Bagazo de Caña de Azúcar y Piedra Pómez como Material de Soporte*. Ingeniería y competitividad, Volumen 5 - No. 2.

Cornejos Soldevilla Daniela Medalit (2015) *Determinación de la eficiencia de remoción de la DBO de agua residual domestica mediante la utilización de un biofiltro de piedra pómez*. Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Química Trujillo, Perú.

Correa Mauricio Andrés y Sierra Jorge Humberto (2004), *Remoción integrada de materia orgánica, fósforo y nitrógeno en un sistema de filtros (biofiltros) en serie anaerobio/ anóxico/ aerobio en condiciones dinámicas*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, núm. 31. pp. 5-22. Universidad de Antioquia Medellín, Colombia.

FAO (2014)- Somerville Christopher, Cohen Moti, Pantanella Edoardo, Stankus Austin, Lovatelli Alessandro. *Aquaculture Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming*. Roma, Italia.

Fundación Chile. *Tecnología de Biofiltros, Tecnología No Convencional de tipo Biológico*. Gobierno de Chile CONAMMA.

Galindo Andres; Toncel Enrique; Rincón Nancy. *Evaluación de un filtro biológico como unidad de post-tratamiento de aguas residuales utilizando conchas marinas como material de soporte* Revista ION, vol. 29, núm. 2, 2016, pp. 39-50 Universidad Industrial de Santander Bucaramanga, Colombia.

Merino Galli Oscar y Sal Miguel Facundo (2007). *Sistema de recirculación y tratamiento de agua*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos CENADAC, Santa Ana, Corrientes.

Merino Germán E., Barraza Joel, Emperanza Esteban, Varela Marcelo, Silva Alfonso (2015). *Sistemas de recirculación en acuicultura en Chile*. Universidad católica del norte facultad de ciencias del mar departamento de acuicultura

Piedra Pomez. (2016) *Rocas y Materiales*. Consultado 16:40, 11 de junio de 2019 de <https://www.rocasym minerales.net/piedra-pomez/>

Piedra caliza. (2013) *EcuRed*. Consultado el 01:27, junio 11, 2019 de https://www.ecured.cu/index.php?title=Piedra_caliza&oldid=2083227.

Ramírez Pizarro Carolina Andrea (2015). *Tasa de remoción de nitrógeno amoniacal total en biofiltros aeróbicos para tres tipos diferentes de bioportadores*. Proyecto para optar al título de Ingeniero Acuicultor. Universidad católica de Valparaíso, Facultad de ciencias del mar y geografía escuela de ciencias del mar. Valparaíso, Chile.

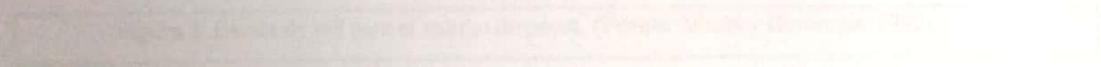
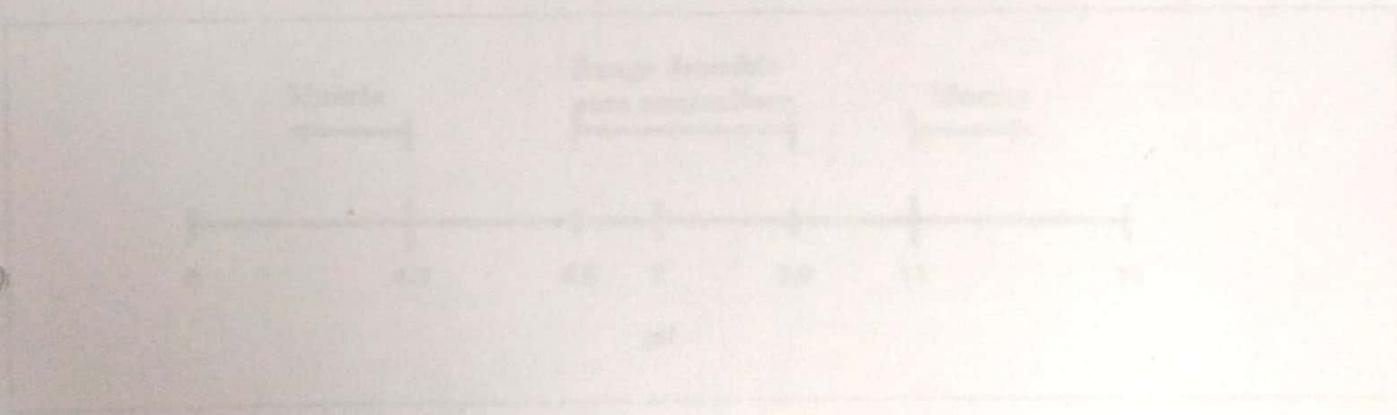
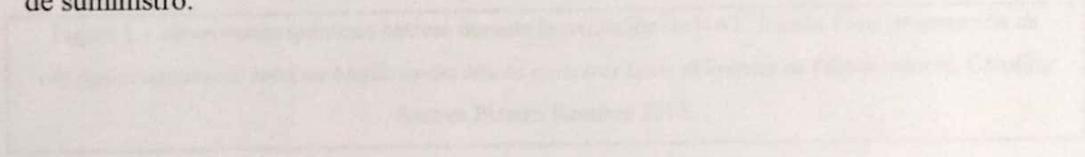
Salazar Salguero Edison Marcelo (2018) *Análisis de piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria florícola la herradura*

floherrera S.A, ubicada en el cantón salcedo. Trabajo experimental previo a la obtención del título de ingeniero civil. Ambato, Ecuador.

Sampedro Segovia Pamela Cynthia, (2017). *Evaluación de un filtro artesanal de efluentes generados por una lubricadora en la ciudad de latacunga, a base de piedra volcánica, piedra pómez, carbonato de calcio y algas.* Trabajo experimental previo a la obtención del título de ingeniera civil. Universidad técnica de Ambato. Facultad de ingeniería civil y mecánica. Ambato – Ecuador.

Timmons M.B., Ebeling J.M., Wheaton F.W., Summerfelt S.T. y Vinci B.J., 2002. *Recirculating aquaculture systems.* Northeastern Regional Aquaculture Center. E.U.A.

Ugalde Rigoberto Engel. (2013) *Sistemas de Recirculación de Agua para la Acuicultura en el estado de Hidalgo Ing.* Mesa de trabajo: MiPyMEs y enverdecimiento de las cadenas de suministro.



7. ANEXO

7.1 Figuras:

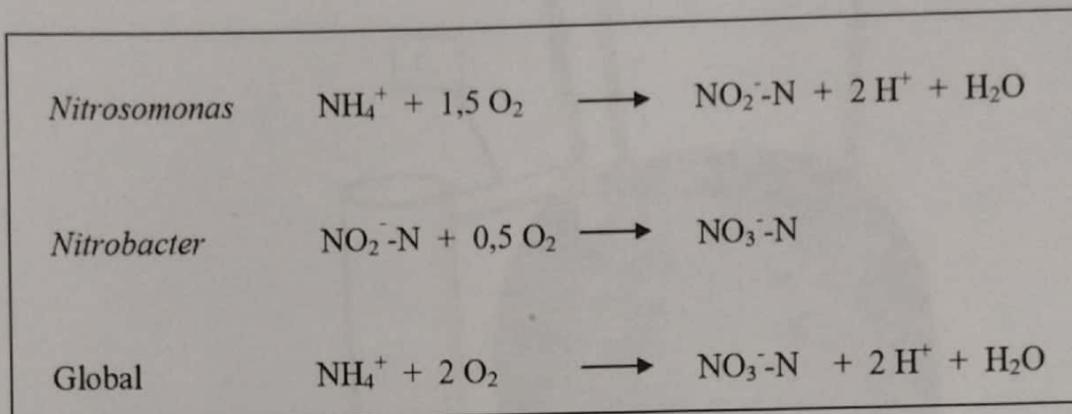


Figura 1. Conversiones químicas básicas durante la oxidación de NAT. Fuente *Tasa de remoción de nitrógeno amoniacal total en biofiltros aeróbicos para tres tipos diferentes de bioportadores*. Carolina Andrea Pizarro Ramírez 2015.

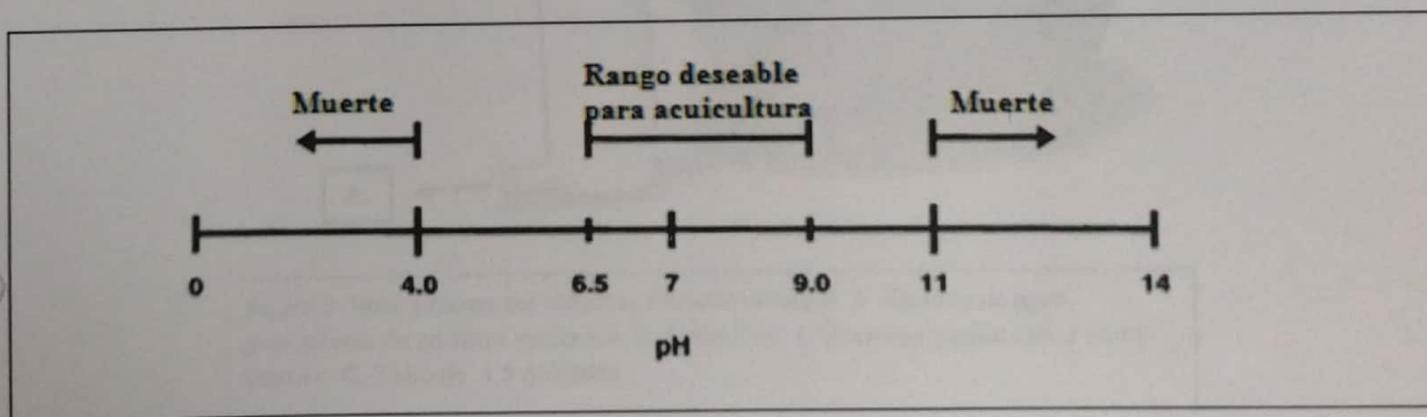


Figura 2. Escala de pH para el cultivo de peces. (Fuente: Wurts y Durborow 1992).

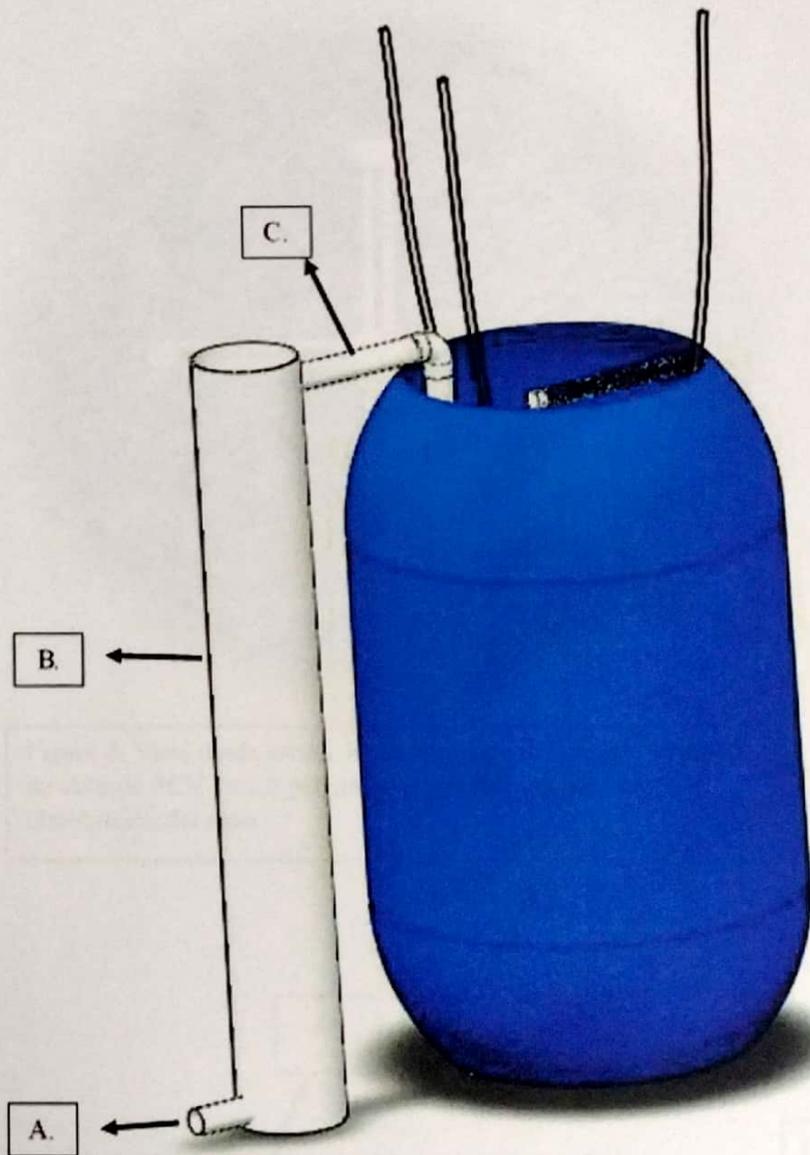


Figura 3. Vista externa del biofiltro. Entrada del agua. A. Entrada de agua proveniente de un filtro mecánico. B. Tubo PVC 150mm con piedra caliza en su interior. C. Tubo de 1,5 pulgadas.

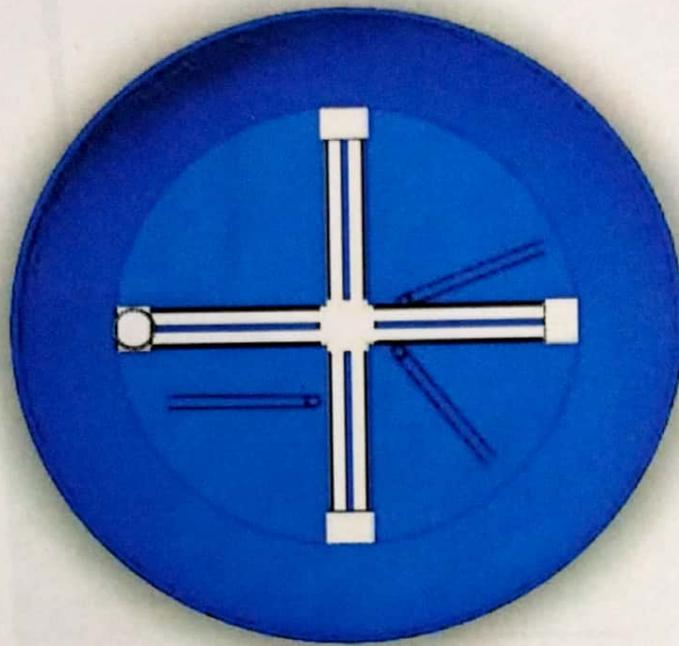


Figura 4. Vista desde arriba. Mostrando con detalle las conexiones de caño de PCV de 1,5 pulgadas con sus ranuras para la distribución del agua.

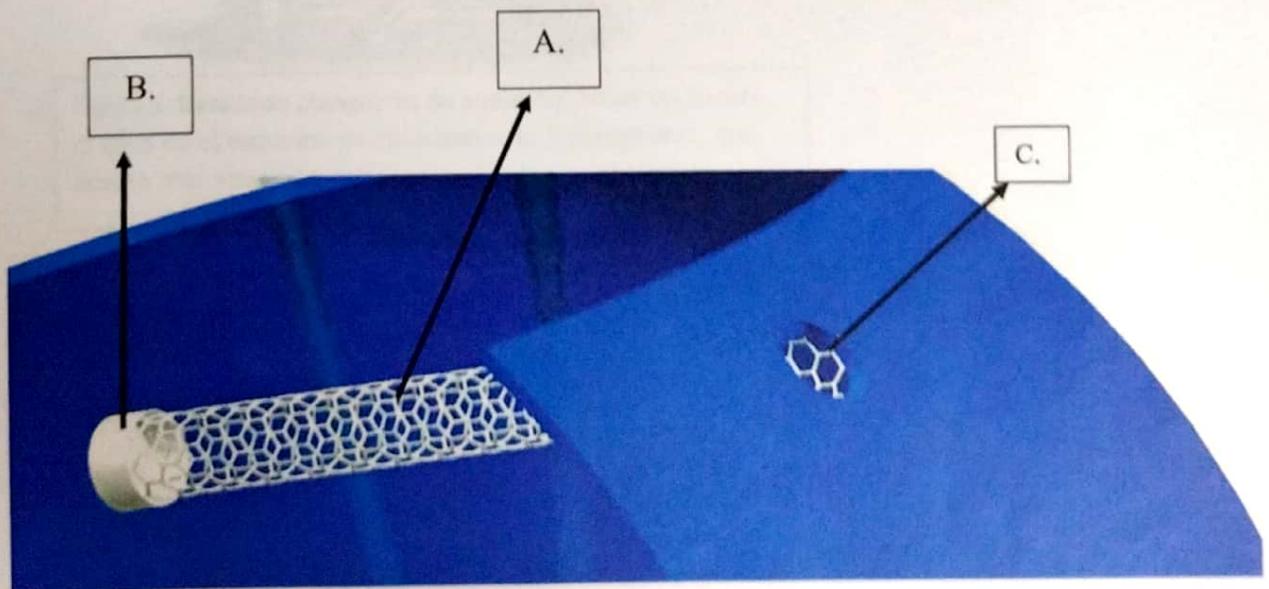


Figura 5. Detalle de tubo filtrador confeccionado con malla plástica. A. Malla plástica. B. Tapón 2 pulgadas. C. Salida del agua ya filtrada

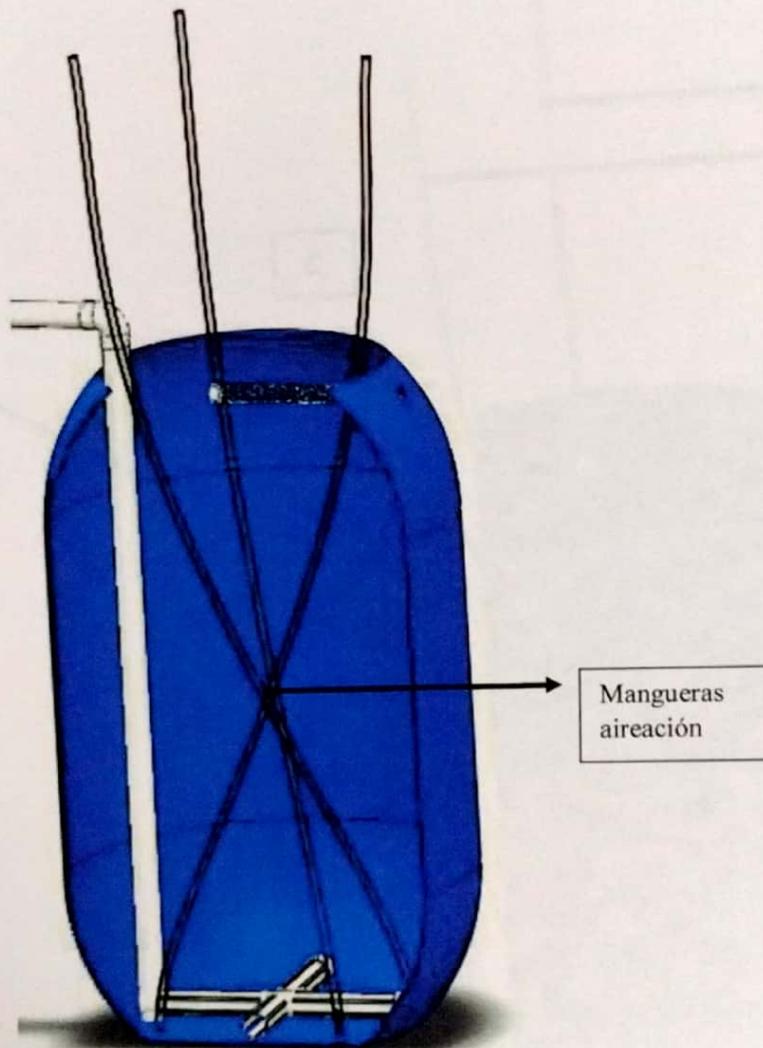


Figura 6. Detalla de mangueras de aireación. Tener en cuenta: si bien en el esquema se muestran solo 3 mangueras, que contra más aireación mejores resultados se obtendrán.

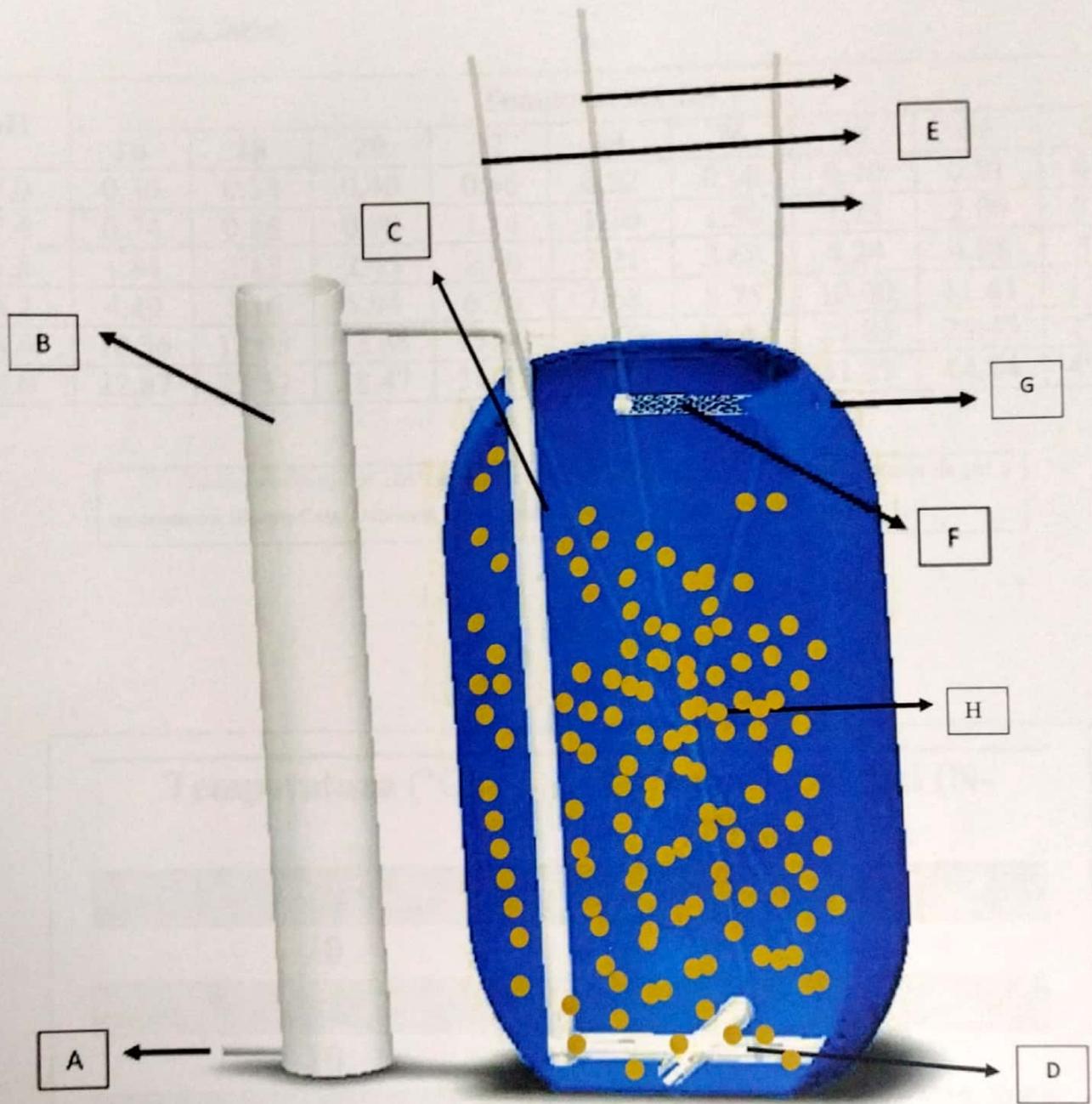


Figura 7. Corto longitudinal del biofiltro con todas sus piezas. A. Entrada de agua proveniente de un filtro mecánico. B. Tubo PVC 150mm con piedra caliza en su interior. C. Tubo de 1,5 pulgadas. D. Distribuidor de agua. E. Mangueras de aireación. F. Filtro de malla plástica. G. orificio de salida. H. Piedras pómez.

7.2 Tablas:

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

Tabla1. Porcentaje de NH₃ sobre el nitrógeno amoniacal total a diferentes valores de pH y temperaturas. (Fuente Centro Nacional de Desarrollo Acuicola-CENADAC, Caló Pablo 2011).

Temperatura (°C)	Gr amoniaco total (N-NH ₃)(m ² /día)
25	1.0
20	0.9
15	0.7
10	0.5
5	0.3

Tabla 2. Tasas de nitrificación considerando la temperatura del agua. Tomado de Revenga 2018.

Media type	Surface area (m ² /m ³)	pH	Cost	Weight	Lifespan	Water retention	Plant support	Ease to work with
Volcanic gravel (tuff)	300–400	Neutral	Medium	Medium	Long	Medium–Poor	Excellent	Medium
Volcanic gravel (pumice)	200–300	Neutral	Medium–High	Light	Long	Medium	Medium–Poor	Easy
Limestone gravel	150–200	Basic	Low	Heavy	Long	Poor	Excellent	Difficult
Expanded clay (LECA)	250–300	Neutral	High	Light	Long	Medium–Poor	Medium	Easy
Plastic bottle caps	50–100	Inert	Low	Light	Long	Poor	Poor	Easy
Coconut fibre	200–400 (variable)	Neutral	Low–Medium	Light	Short	High	Medium	Easy

Tabla 3. Diferencias entre tipos de medios filtrantes. Fuente: Aquaculture *Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming* FAO 2014.

Tabla de Alimentación para Trucha Arco Iris

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

Peso (gr)	0-8,58	8,58-1,90	1,90-5,15	5,15-12,03	12,03-23,10	23,10-39,22	39,22-61,73	61,73-91,74	91,74-131,90	131,90-178,60	178,60-303,5	
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	
7,3	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	4,1	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	

Tabla 4. Alimentación para *Oncorhynchus mykiss*. Fuente: E. Leitzitz- Trout and Salmon Culture, Fish Bulletin N° 107.