

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
FACULTAD DE CIENCIA DEL MAR Y GEOGRAFIA
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Selección y dimensionamiento de las unidades de tratamiento de agua
para un sistema de recirculación en el liceo técnico profesional Dr.
Rigoberto Iglesias Bastías de Lebu

Proyecto para optar al título de Ingeniero Acuicultor
por
Marcel Alexis Huerta Bórquez

Valparaíso
2017

Comité de Titulación:

Profesor Guía : Dra. M. Isabel Toledo Donoso

Profesor : Dr. Felipe Hurtado Ferreira

Profesor : Dr. Dante Queirolo Palma

AUTORIZACIÓN DE USO

Al presentar este Proyecto como último requisito para la obtención del título de Ingeniero Acuicultor, autorizo a la biblioteca de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, para que disponga libremente de ella. Autorizo además reproducciones parciales o totales de este Proyecto sólo con fines académicos.

Marcel Huerta Bórquez

DEDICATORIA

..... a mis queridos padres y hermano.

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a los profesores de la Escuela de ciencias del mar, en especial a mi Profesora Guía Dra. María Isabel Toledo Donoso.

A Pamela Torres por su apoyo y revisión de este documento y su constante incentivo...

¡Muchas gracias!

CONTENIDO

Comité de Titulación:	ii
AUTORIZACIÓN DE USO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN	x
Summary.....	xi
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. ANTECEDENTES	3
3.1 Condiciones del Laboratorio de Acuicultura del Liceo	3
3.2 Sistema de recirculación de acuicultura (SRA)	3
3.3 Unidades de Cultivo / Estanques circulares.....	6
3.4 Filtración Mecánica / Filtro Manga o Bolsa	7
3.5 Filtro biológico /Biofiltración / Moving Bed	7
3.6 Equipo de desinfección de UV.	8
3.7 Bomba	9
4. METODOLOGIA	11
4.1 Selección del filtro mecánico.	12
4.2 Dimensionamiento del biofiltro MBBR.....	12
4.3 Distribución espacial de los componentes.....	15
4.4 Cálculo del volumen total del SRA.	15
4.4.1 Cálculo del caudal total a recircular (Qrt)	15
4.4.2 Cálculo de caudal por gravedad.	15
4.5 Dimensionamiento de la bomba de recirculación.	16
4.6 Selección del Equipo UV.	17
4.7 Dimensionamiento del aireador o blower.	18
5. RESULTADOS	20
5.1 Selección del filtro mecánico	20
5.2 Dimensionamiento del biofiltro MBBR.....	21
5.3 Distribución espacial de los componentes.....	22
5.4 Cálculo del volumen total del SRA.	25
5.4.1 Cálculo de caudal por gravedad.....	26

5.5	Dimensionamiento de la(s) bomba(s) de recirculación.....	27
5.6	Dimensionamiento bomba principal.....	27
5.7	Dimensionamiento Bomba Secundaria.....	29
5.8	Selección de Equipo UV.....	32
5.9	Dimensionamiento del aireador o Blower.....	33
6.	DISCUSION	35
7.	CONCLUSIONES	37
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	38
9.	ANEXOS	40
	Anexo I Tabla de Pérdidas de Carga en las tuberías de PVC/ polietileno 1	40
	Anexo II Tabla de coeficientes para diferentes tipos de Materiales.	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de un Sistema de recirculación de agua para la acuicultura. Fuente: modificado a partir de Parker (2002) y Timmons et al. (2002).....	5
Figura 2. Principio de los moving bed biofilm reactor (MBBR). Fuente: Pizarro, 2015.	8
Figura 3. Biomedio o sustrato para la fijación bacteriana. Fuente: Andersson et al., (2014)..	14
Figura 4. Diseño filtro mecanico.	20
Figura 5. Lay Out 2D Sistema de recirculación para la mantención de congrio.....	23
Figura 6. Componentes sistema de recirculación: Unidad de cultivo (TK), Filtración mecánica (F.M.) (Filtro de bolsa), Bomba principal recirculación (B1), Bomba Secundaria (B2) de transmisión hacia el UV, Biofiltro (BIO), Acopio (AC), Bomba Abastecedor (B3), Filtro de arena (F.A.).....	24
Figura 7. Esquema de las diferencias de altura, bomba principal.	27
Figura 8. Esquema de las diferencias de altura, bomba secundaria.	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Aporte nutricional Jibia (<i>Dosidicus gigas</i>).....	13
Tabla II. Cantidad de energía UV ($\mu\text{watts}\cdot\text{seg}/\text{cm}^2$.) necesaria para la destrucción del 99,9% de varios tipos de bacterias.....	18
Tabla III. Eficacia de transferencia de oxígeno ($\text{kgO}_2/\text{kW}/\text{hr}$).....	19
Tabla IV. Resultado del volumen total de rebalse.....	21
Tabla V. Resultado del dimensionamiento Biofiltro Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). 22	
Tabla VI. Número de piezas de fitting necesaria para el sistema.....	25
Tabla VII. Cuantía del volumen total del sistema para su recirculación.....	26
Tabla VIII. Resultado del cálculo de m.c.a. para la selección de bomba (b1: bomba principal de recirculación) a utilizar en el sistema de recirculación.....	28
Tabla IX. Rango Caudal /presión de trabajo de la Bomba Espa Silen 150 M.	29
Tabla X. Especificaciones técnica bomba Principal seleccionada.	29
Tabla XI. Resultado del cálculo de m.c.a. para la selección de bomba (B1: bomba secundaria) a utilizar en el sistema de recirculación.....	31
Tabla XII. Rango Caudal /presión de trabajo de la Bomba Espa IRIS 500M.....	32
Tabla XIII. Especificaciones técnica bomba secundaria seleccionada.....	32
Tabla XIV. Resultados del cálculo de caudal por gravedad proveniente del biofiltro hacia los estanques de cultivo.....	26
Tabla XV. Ficha técnica Equipo UV 40.....	33
Tabla XVI. Resultado del dimensionamiento de la unidad de aireación del SRA.....	33
Tabla XVII. Ficha técnica del Blower HG- 250.....	34

RESUMEN

En el presente trabajo se entrega los criterios de selección y dimensionamiento de las unidades de tratamiento de agua de un sistema de recirculación, para la mantención de Congrio Colorado. Se explicita la metodología de selección y cálculo para determinar los requerimientos de filtración mecánica, filtración biológica, bombas de recirculación y Equipamiento de desinfección y aireación

La selección y dimensionamiento de unidades de tratamiento de agua para el sistema de recirculación del liceo técnico profesional Dr. Rigoberto Iglesias Bastías de Lebu, se realizaron en base a criterios de funcionalidad y calidad, pero además considerando los precios de los equipos. Los componentes escogidos corresponden a un filtro mecánico por mangas, biofiltro de película biológica de lecho móvil o moving bed, dos bombas de recirculación, un equipo de desinfección UV y un equipo de aireación.

Summary

In the present work the design and dimensioning of a recirculation system for the maintenance of Congrio Colorado is given. The calculation methodology is explained to determine the requirements of biofilters, recirculation pumps, fittings and equipment that are part of the recirculation system.

The selection and dimensioning of recirculation system units was carried out based on functionality and quality criteria, but also considering the prices of the equipment. The system consists of a mechanical filtration system based on sleeve filters, a moving bed biofilter reactor, two water pumping units, an ultraviolet light (UV) disinfection unit and one aeration unit.

1. INTRODUCCION

La Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso es la entidad ejecutante del proyecto Fondef Regional “*Desarrollo de la tecnología de nichos artificiales para el asentamiento y recuperación del Congrio Colorado, orientada a la sustentabilidad de la pesca artesanal de la región del Bío Bío*”, siendo su Directora la Dra. M. Isabel Toledo Donoso. El financiamiento de este proyecto fue provisto por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT), en el marco del VI Concurso de FONDEF Regional de Proyectos de Investigación y Desarrollo Región de Antofagasta-Región de Atacama-Región del Bío Bío 2013.

El proyecto se lleva a cabo en la localidad de Lebu, capital provincial de la provincia de Arauco, VIII Región del Bío Bío. Consiste en la construcción de estructuras denominadas “nichos artificiales”, especialmente diseñadas para favorecer el asentamiento de la especie Congrio Colorado en ellas. Subsecuentemente, se espera que estos nichos actúen como sustrato disponible para la colonización de otras especies bentónicas e ícticas de la zona. Estos módulos artificiales serán instalados en un área de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB), formando parte de su plan de manejo en los cuales se liberarán juveniles de Congrio Colorado en los nichos artificiales. La etapa previa a la liberación de los congrios, es la captura de juveniles de congrios proporcionados por los pescadores artesanales de la zona, para luego ser mantenidos en un sistema de recirculación, hasta ser liberados en el mar.

Producto de la necesidad de disponer de una unidad de mantención, este proyecto propone una selección y dimensionamiento de las unidades de tratamiento de agua para la creación de un sistema de recirculación para la mantención de Congrio Colorado (*Genypterus chilensis*) en las dependencias del Liceo Técnico Profesional Dr. Rigoberto Iglesias Bastías, ubicado en la ciudad de Lebu. Este trabajo de tesis considera la entrega de criterio de selección y metodología para dimensionar y definir las unidades de tratamiento de agua de este sistema de recirculación.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Seleccionar y dimensionar las unidades de tratamiento de agua para un sistema de recirculación.

2.2 Objetivos específicos

- Definir los criterios de selección para unidad de filtración mecánica.
- Dimensionar el filtro(s) biológico(s) (Biofiltro).
- Dimensionar la(s) bomba(s) a utilizar en el sistema de recirculación.
- Seleccionar la unidad de desinfección y dimensionar la unidad de Aireación.

3. ANTECEDENTES

La necesidad del liceo requiere la creación de un sistema de recirculación para la mantención de congrio colorado (*Genypterus chilensis*), para ello nos entregan que la biomasa final será de 100 kg, estimando una cantidad de 200 peces, con un peso promedio de 500 gramos.

3.1 Condiciones del Laboratorio de Acuicultura del Liceo

El Liceo Técnico Profesional Dr. Rigoberto Iglesias Bastías, cuenta con un espacio disponible de 8,29 metros de largo por 5,5 metros de ancho, para la instalación de un sistema de recirculación.

Para ello el liceo cuenta en sus dependencias 6 estanques circulares de las siguientes características:

- Diámetro del estanque 1,95 metros.
- Altura del estanque 1 metro.

3.2 Sistema de recirculación de acuicultura (SRA)

Los Sistemas de Recirculación en Acuicultura (RAS) pueden ser definidos como sistemas que incorporan tratamientos y reutilización de agua, en los que se renueva menos del 10% del volumen total, gracias a los distintos componentes que lo constituyen (Figura. 1), (Cardenas, 2008). Estos sistemas de recirculación, poseen una tecnología que ofrece la bioseguridad necesaria que requieren los cultivos acuícolas. A su vez permiten que se desarrolle el cultivo en tierra de especies de alto interés comercial manteniendo un mayor control de calidad de agua y descarga de residuos, pudiendo funcionar con una renovación de agua del 10 % diario (Orellana *et al.*, 2014). Según Cárdenas, 2008, las principales ventajas de los RAS¹ se pueden señalar como:

- Flexibilidad en la selección del emplazamiento con la posibilidad de localizar los cultivos cerca del mercado.
- Reducción de uso del suelo y agua. (*)
- Disminución de los costos energéticos. (*)
- Control completo del agua (pH, salinidad, T°, O₂, etc).
- Reducción de los vertidos orgánicos de los cultivos.
- Bioseguridad (desinfección de los cultivos y vertidos).

¹ RAS corresponden a las siglas en Ingles Recirculation Aquaculture Systems

- Control de la biomasa piscícola con la posibilidad de mayores cargas en los cultivos: 60-120 kg/m³.
- Posibilidad de cosechar los peces en cualquier época del año en con el tamaño deseado.
- Calidad constante para el mercado.
- Posibilidad de integrar los cultivos con otras actividades (p.e.: cultivos asociados, cultivos hidropónicos, irrigación).

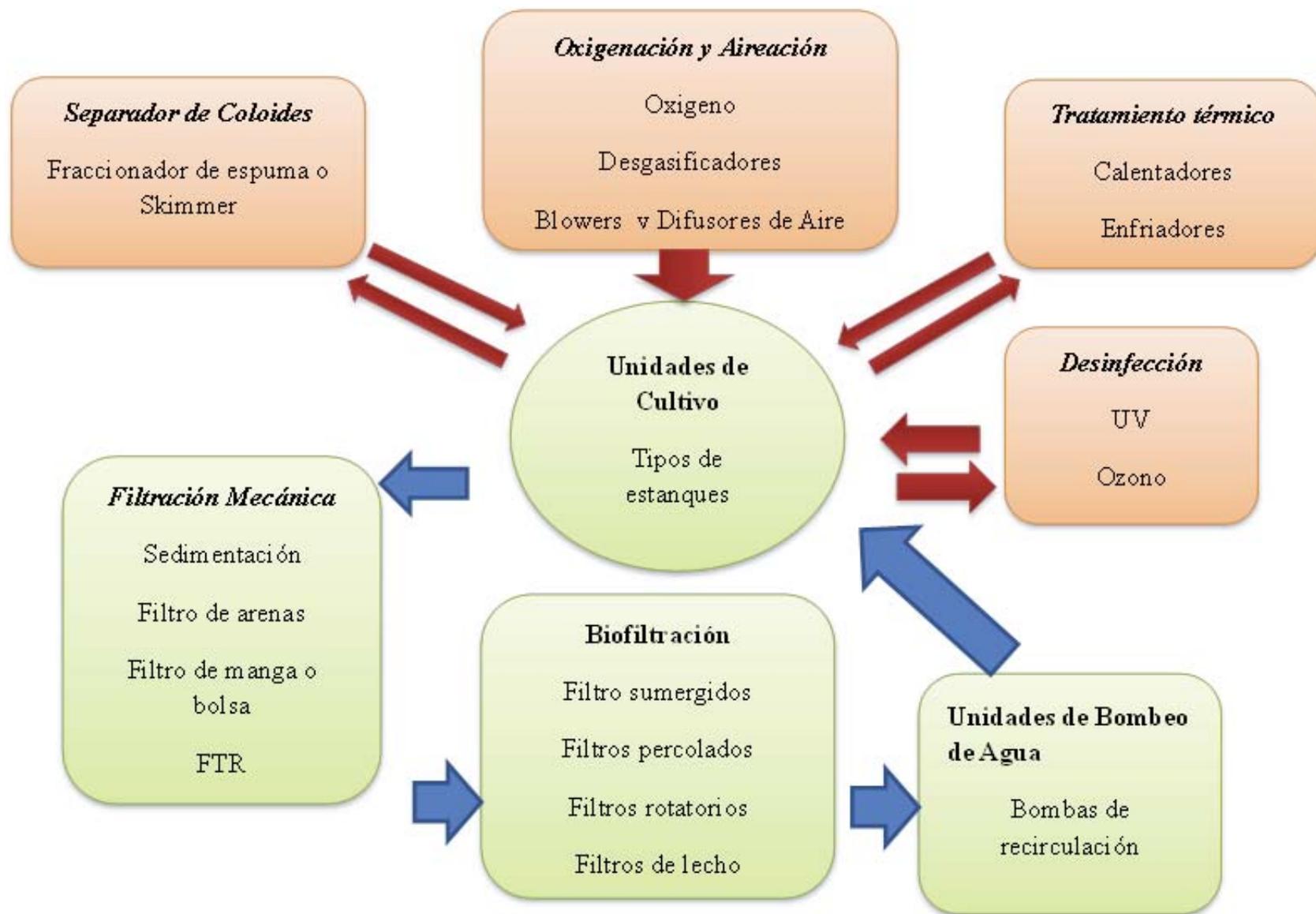


Figura 1. Componentes de un Sistema de recirculación de agua para la acuicultura. Fuente: modificado a partir de Parker (2002) y Timmons et al. (2002).

En los RAS, se reutiliza el agua de salida de los estanques de peces en lugar de ser liberadas a un cuerpo de agua receptor. El agua de salida de los estanques es tratada dependiendo de los requisitos de calidad de agua de la especie que esté siendo cultivada (Lekang, 2007). El agua sigue circulando a través del sistema, y solamente un pequeño porcentaje de ésta es remplazado diariamente (Timmons et al., 2002).

Para mantener la calidad de agua de un sistema de recirculación, es necesario un gran número de componentes y tener una sólida comprensión de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en las unidades de tratamientos de agua. Entre estos se encuentran filtración mecánica o física, filtración biológica y desinfección principalmente, entre otros más sofisticados

Los antecedentes técnicos de los componentes principales del sistema de recirculación se señalan a continuación:

- Unidades de cultivo / Estanques
- Filtración Mecánica / Filtro Manga o Bolsa
- Filtro biológico / Biofiltración / Moving Bed
- Equipo de desinfección UV
- Bomba(s)

3.3 Unidades de Cultivo / Estanques circulares.

Posee una elevada velocidad del agua por lo que tiene un alto efecto de auto limpieza. Las partículas orgánicas tienen un tiempo de residencia relativamente corto en función de volumen del estanque. Debido al modelo hidráulico y las fuerzas gravitacionales, la columna de agua se mueve alrededor del centro, para su posterior despiche y limpieza de fecas y alimento no consumido en el centro del estanque.

Ventajas:

- Son de fácil mantención
- Proveen de agua de calidad uniforme.
- Permite operarlos bajo una amplia gama de velocidades de rotación para optimizar la salud condición de los peces.
- Los sólidos sedimentables pueden ser rápidamente eliminados a través del drenaje central.
- Diseños que permiten la observación visual o automática de alimento no ingerido lo cual permite alimentar a saciedad. (Timmons et al. 2002).

3.4 Filtración Mecánica / Filtro Manga o Bolsa.

Una bolsa de filtro trabaja por el principio de la micro filtración. El líquido es purificado en bolsas pasando a través de poros permeables. Las bolsas de filtros pueden ser usadas para grandes cantidades de agua.

La alta capacidad de trabajo es gracias a los tamaños de los poros que van entre 1-200 micras. La capacidad depende de la superficie del área de las bolsas. Los sistemas más grandes pueden limpiar más de 500 m³ /h (multi filtros de bolsa). Normalmente se les utiliza como colectores de polvo y materia orgánica, atrapa grasas, alimentos y bebidas, procesos de pintura, procesamiento de químicos, hidrocarburos y gas. En usos industriales en las áreas de la minería, industria cementera, automotriz, metal mecánica papelería, cartonera, cabinas de pintura, procesamiento y envasado de alimentos y bebidas.

3.5 Filtro biológico /Biofiltración / Moving Bed.

Actualmente existen diversidad de filtros biológicos utilizados en los sistemas de recirculación. Sin embargo, una adecuada selección de sustrato y tamaño de biofiltro es crítico para el éxito operacional y comercial de un RAS (Malone & Pfeiffer, 2006).

El reciente desarrollo en biofiltros ha dado lugar al uso de reactores de película biológica de lecho móvil (MBBR)², debido a su éxito comercial a gran escala en plantas de tratamientos de aguas residuales y con costos relativamente bajos para su fabricación (Ling, 2005; Rusten et al., 1995; Rusten et al., 2006). Los MBBR son reactores que operan en su interior con portadores de plástico de diseño único. En la superficie de los portadores es donde ocurre el crecimiento de la película biológica, que en condiciones aeróbicas, dan paso a la nitrificación (Rusten et al., 2006; Timmons et al., 2002). Los reactores mantienen en suspensión y constante agitación a los portadores en la columna de agua por medio de un difusor de aire. El difusor de aire se encuentra ubicado en el fondo del biofiltro proporcionando a los portadores un patrón de movimiento toroidal. El flujo de surgencia central proporcionado por el difusor sirve también para remover el exceso de film biológico de los portadores manteniendo una óptima capa fina para una máxima eficiencia de nitrificación. El levantamiento de los portadores por la columna 2 central del biofiltro, provoca que estos alcancen la superficie y que luego retornen hacia al fondo de la unidad cerca del difusor, donde el patrón de movimiento se vuelve a repetir (Pfeiffer & Willis, 2011) (Figura. 2).

² MBBR siglas en inglés de Moving Bed Biofilm Reactor

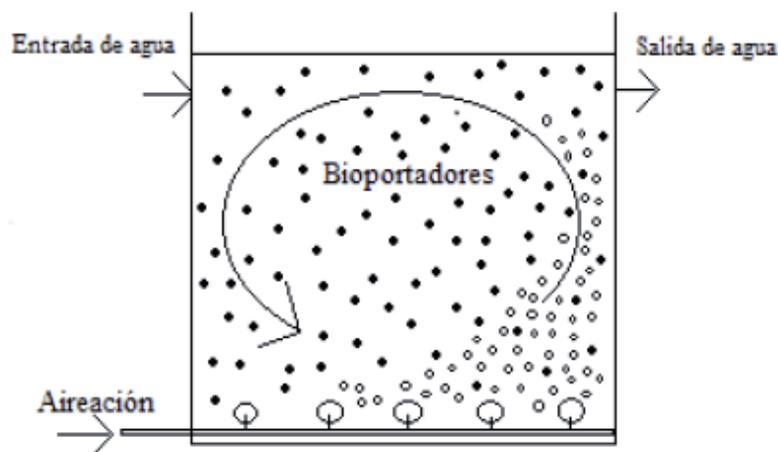


Figura 2. Principio de los moving bed biofilm reactor (MBBR). Fuente: Pizarro, 2015.

Las bacterias que se fijan al sustrato necesitan de un tiempo de iniciación o puesta en marcha (start-up). La puesta en marcha típica de un biofiltro se da cuando las concentraciones de amonio y nitrito llegan a una capacidad máxima, donde una caída del nivel del nitrito indicaría que el reactor está totalmente activado (Timmons et al., 2002). A su vez, esto indicará que las comunidades de bacterias se encuentran establecidas a los portadores y listas para comenzar el proceso de nitrificación. A pesar que esta información es fundamental para la puesta en marcha de un proceso productivo en RAS, pocos son los estudios que han definido este tiempo de iniciación de forma exacta en un sistema marino, señalando tiempos de 5 semanas hasta 70 días (Zhu & Chen 1999; Kumar, 2011).

En el proceso de la nitrificación, el amoníaco se oxida primero en nitrógeno nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) por varios géneros de bacterias autótrofas, las más importantes son Nitrosomonas; luego el nitrito nitrógeno se oxida a nitrato nitrógeno que es mucho menos tóxico ($\text{NO}_3\text{-N}$) por varios otros géneros de bacterias, donde la mayoría y las más importantes son Nitrobacter (Chen et al., 2006) (Figura. 3). El nitrito nitrógeno es un tanto menos tóxico que el amoníaco y el nitrato nitrógeno es considerado relativamente no tóxico para la mayoría de los organismos acuáticos (Breton, 2005).

3.6 Equipo de desinfección de UV.

La desinfección por medio de luz ultravioleta, es un mecanismo rápido, confiable y eficiente para la eliminación de microorganismos patógenos, ya que se trata de un proceso físico el cual no genera compuestos tóxicos, a diferencia de otros desinfectantes químicos (cloraminas, clorofenoles, etc.), manteniendo inalterada las características organolépticas del agua, y además es un método de desinfección amigable con el medio ambiente. (Bioligth S.A. s/f)

La función de la luz UV es que impide la reproducción de microorganismos como: las bacterias, los virus y los protozoos, dañando su ácido nucleico, ADN.

De acuerdo a la empresa Biolight S.A. los equipos UV presentan las siguientes ventajas y aplicaciones.

Ventajas

- Eficaz: Desactiva la mayoría de virus, esporas y quistes.
- Sin Residual: No deja residuales que puedan afectar a los seres humanos o cualquier organismo acuático.
- Proceso Físico: Elimina la necesidad de generar, manejar, transportar, o almacenar productos químicos tóxicos, peligrosos o corrosivos.
- Tiempo de Contacto: Notablemente bajo en comparación a otros desinfectantes.
- Fácil Uso: La desinfección UV es de fácil uso para los operadores.
- Complementaria: Es posible complementarla con otros métodos de desinfección tales como ozono y/o cloro.

Aplicaciones

- Desinfección de aguas limpias, que pueden tener microorganismos y agentes patógenos.
- Desinfección de aguas residuales, con coliformes fecales y bajos niveles de transmitancia UV.
- Desinfección en tanques de almacenamiento de fluidos.
- Desinfección de superficies.
- Acuicultura.
- Wellboats.
- Desinfección de aguas para reúso (procesos industriales).
- Riego agrícola.

3.7 Bomba

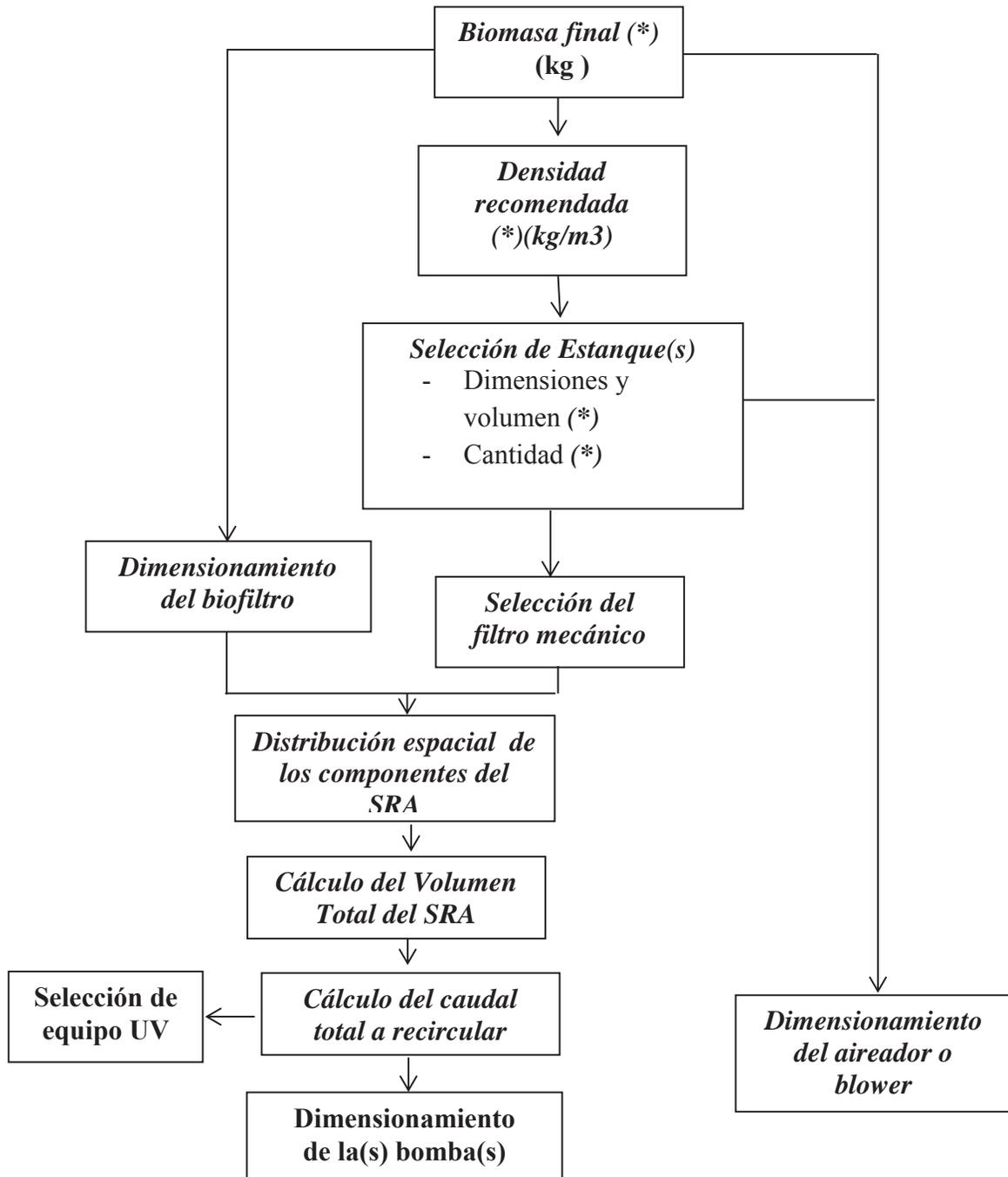
Todos los sistemas de recirculación para la acuicultura utilizan alguna clase de bomba para llevar el agua a la cota más alta o para incrementar la presión en el sistema para hacer posible la filtración, la aireación, la desgasificación. Las bombas pueden ser mecanismos bastante eficientes para entregar energía al agua. Sin embargo, para funcionar eficientemente y confiablemente, éstas deben ser cuidadosamente seleccionadas e integradas al sistema. La clave para seleccionar una bomba es tratar de hacer coincidir los requerimientos del sistema acuícola con el máximo de eficiencia de la operación de la bomba.

La bomba es la encargada de recircular el agua por el sistema por lo cual es la que entrega el recambio de agua en las unidades de cultivo, para esto se recomienda que la bomba tenga la capacidad de recambiar el agua del sistema 1 o 1,5 recambios/hora. Teniendo en cuenta las pérdidas o fricción que la distribución y canalización de la red hidráulica presentara.

En la actualidad la eficiencia y cualidades de las bombas han aumentado, en el mercado se encuentra una enorme cantidad de tipos de bomba siendo las más utilizadas en los sistemas de recirculación a pequeña escala las bombas centrífugas autoaspirantes, con prefiltro incorporado, destinadas a mover grandes cantidades de agua. El material de construcción de las bombas ha evolucionado desde el acero a un termopolimero o aluminio, siendo esto un aporte al aumento de la vida útil de estos equipos que se enfrenta en su operación a lugares con presencia de agua, siendo el agua salada una de las mayores problemáticas producto de sus sales que corroen el material.

4. METODOLOGIA

Para el desarrollo de la selección y dimensionamiento de las diferentes unidades de tratamiento de agua que conforman un sistema de recirculación se procedió que se describe a continuación mediante un diagrama de flujo.



(*) Corresponde a información proporcionada por el liceo o estimada.

4.1 Selección del filtro mecánico.

Para determinar la capacidad de retención de sólidos del filtro mecánicos, se consideraron estudios realizados en sistemas de recirculación por Timmons et al. (2002). Estos autores proponen que los sólidos finos son aquellas partículas sólidas identificadas en la columna de agua que no se depositan con rapidez, su tamaño fluctúa de 1 – 100 micrones, los cuales deben ser erradicados para mantener una buena calidad de agua.

Para la selección del filtro mecánico a implementar en el sistema de recirculación, se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Capacidad de remover sólidos finos
- Construcción de bajo costo y con materiales de fácil acceso.
- Mínima pérdida de carga
- Fácil mantención de limpieza

Para determinar las dimensiones del contenedor de los filtros de manga, se debe cumplir que, en el caso de una detención del sistema en su recirculación, su volumen sea capaz de contener toda el agua extra proveniente de los estanques, para evitar una posible pérdida de agua por rebalse.

Para este cálculo se logra gracias al conocer el delta de altura del nivel de los estanques versus la descarga de agua hacia el contenedor, con ello se puede determinar el volumen total de agua que será vertida en el contenedor.

4.2 Dimensionamiento del biofiltro MBBR.

Para el dimensionamiento del biofiltro se tomó en cuenta el número de peces y su peso promedio, de esta manera se calculó la biomasa total en el instante de mayor capacidad para sistema de recirculación. Como el alimento a suministrar a los congrios se consideró la jibia (*Dosidicus gigas*) y 1 % del porcentaje peso cuerpo para la dosis diaria de alimento para la mantención de los peces. La cantidad de los nutrientes que se muestran en la Tabla I, corresponde a 100 gramos de este alimento.

Tabla I. Aporte nutricional Jibia (*Dosidicus gigas*).

Calorías			80,40 kcal
Grasa			1,40 g
Colesterol			167,50 mg
Sodio			110 mg
Carbohidratos			0,70 g
Fibra			0 g
Azúcares			0,70 g
Proteínas			16,25 g
Vitamina A	77,03 ug.	Vitamina C	0 mg
Vitamina B12	1,31 ug.	Calcio	144 mg
Hierro	0,32 mg.	Vitamina B3	7,04 mg

Fuente: <http://www.alimentos.org.es>

Para el cálculo de la biomasa:

$$Biomasa (kg) = n^{\circ} peces * peso promedio(kg)$$

Luego para determinar la cantidad de alimento a suministrar diariamente, a todo el sistema de recirculación.

$$Alim = \%PC * Biomasa (kg)$$

Dónde:

Alim: cantidad de alimento a entregar al sistema

%PC: porcentaje peso cuerpo

De acuerdo al aporte nutricional en proteína proveniente del alimento a suministrar (Tabla I). La cantidad de los nutrientes que se muestran en la Tabla I, corresponde a 100 gramos de este alimento.

La cantidad de los nutrientes que se muestran en la Tabla I, corresponde a 100 gramos de este alimento, luego se procede a obtener los kg/proteína/día, a partir de este valor, se determina la cantidad de nitrógeno, cuyo contenido medio es de un 16 % del porcentaje total de proteínas, en consecuencia cada 6,25 g de proteína contienen 1 g de N (Murray, 2009). Con ello, se determina la concentración en gramos de nitrógeno diario que se aportará al sistema (g/N/día).

Para determinar la concentración de TAN³ (Nitrógeno amoniacal total), se conoce que el 50 % del nitrógeno excretado por los peces se conforma en TAN⁴, por lo tanto, la cantidad de gramos de TAN (g/TAN/día) se logra aplicando el porcentaje sugerido a la concentración de Nitrógeno Diario (g/N/día). Con la obtención del TAN diario, que se ingresa al sistema de recirculación, se determina la tasa de remoción de TAN que deberá nitrificar el biofiltro, para agua dulce y características del medio o sustrato a utilizar, la cual se define en 0,02 g TAN/m²/día (Timmons et al. (2002). Sin embargo, para agua salada la tasa de remoción se reduce en un 37% según Chen *et al.* (2006). Finalmente se aplicó este porcentaje de reducción de eficiencia de la tasa de remoción, fijando para este sistema una tasa de remoción de 0,0126 g TAN/ m²/día.

Para el cálculo de los metros cuadrados del medio que se deben utilizar en el biofiltro, se logra gracias a la división de la concentración de TAN diaria y la tasa de remoción de TAN diaria. El biomedio o sustrato para la fijación bacteriana es del tipo Anox K5 (Figura 3), el cual tiene una superficie específica de 800 m²/m³ (Pizarro, 2015), con este dato y al disponer de los metros cuadrados del medio es posible determinar los m³ de biomedios que se deben utilizar el biofiltro.

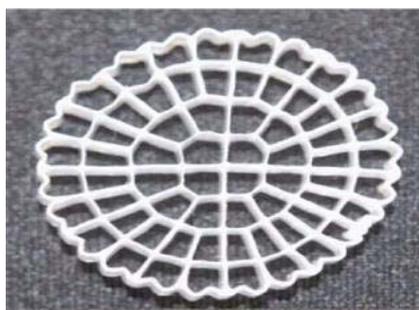


Figura 3. Biomedio o sustrato para la fijación bacteriana. Fuente: Andersson et al., (2014).

Posteriormente se dimensionan las medidas del estanque que será utilizado como biofiltro del cual se debe considerar que los biomedios por lo general ocupan hasta un 70% del volumen del reactor, ya que a un mayor porcentaje de relleno, se reduce la eficiencia del mezclado (Timmons & Ebeling, 2010).

³ TAN siglas en ingles de Total amonia nitrogen

⁴ Jaime Orellana *com. Pers.*

4.3 Distribución espacial de los componentes

Teniendo definido el espacio disponible, las dimensiones de las unidades de cultivo (estanques) y determinado el método de filtración mecánica y biológica, se llevó cabo la distribución espacial de los estanques y tratamientos de agua en el área que ofrece el liceo para la construcción del sistema de recirculación. Luego se levantó un *lay out*, con los componentes del sistema, incorporando la distribución de la red hidráulica y el fitting, necesarios para la canalización de ingreso y salida del agua. Es preciso considerar en la canalización del fitting, las características del lugar, para así registrar de manera clara, las longitudes y las pérdidas por fricción que se producirán para así dimensionar la bomba a utilizar. Los criterios a utilizar para la creación de un *lay out* óptimo, son los siguientes:

- **Funcionalidad y accesibilidad** de acuerdo a la operación futura.
- **Eficiencia** en la canalización y conducción del agua que será impulsada por la(s) bomba(s).

4.4 Cálculo del volumen total del SRA.

Para el cálculo del volumen total del sistema de recirculación, se consideró las 6 unidades de cultivo con su volumen útil, más el volumen del filtro mecánico y biofiltro. Además de un resguardo de un 10 % por concepto del agua que se encuentra de toda la tubería del sistema.

4.4.1 Cálculo del caudal total a recircular (Qrt)

Para determinar el caudal total a recircular, se consideró lo propuesto por Jover. 2003 , en donde propone que los sistemas de recirculación requieren recambios de agua del orden de 1-2 renovaciones a la hora.

El cálculo de caudal se logra debido a la definición de una tasa de 1 recambio/hora , por lo tanto el volumen total de agua del SRA debe ser recirculado en un periodo de tiempo de una hora.

4.4.2 Cálculo de caudal por gravedad.

Para determinar el caudal que fluye por gravedad del biofiltro hacia los estanques de cultivo, se consideró el largo de la tubería que transportara el agua de ingreso, el diámetro de la tubería a PVC y la diferencia de altura entre el nivel de agua de los estanques de cultivo y el nivel de agua del biofiltro. Para luego aplicar la fórmula de Hazen-Williams:

$$Qg = 0,2785 * C * D^{2,65} * S^{0,54}$$

Donde,

Qg: Caudal por gravedad m³/s

C: Coeficiente Hazen-Williams

D: Diámetro de tubería (m)

S: Perdida de carga por unidad de longitud de tubería

$$S = \frac{\Delta H}{L}$$

Donde,

ΔH : Diferencia de altura entre estanques de cultivo y nivel de agua del biofiltro

L: Longitud de tubería

El resultado del caudal que entrega esta fórmula debe ser al menos el mismo caudal que es impulsado por la(s) bomba(s) para mantener la estabilidad de la recirculación de agua del sistema, es decir, caudal por gravedad mayor o igual que caudal total a recircular $Q_g \geq Q_{tr}$

4.5 Dimensionamiento de la bomba de recirculación.

La(s) bomba(s) de recirculación es la encargada de llevar el agua desde el filtro mecánico hacia el biofiltro. Se debe calcular las diferentes pérdidas de carga que tendrá la bomba en su funcionamiento, que se denomina altura manométrica total (Hm), la cual corresponde a la altura total de elevación del agua. A continuación se muestra la fórmula para el cálculo de Hm:

$$H_m = H_g + \text{pérdidas de carga por singularidades}$$

Donde

$$H_g = H_a \pm H_i + \text{pérdidas de carga por singularidades}$$

Hg se denomina altura geométrica, y corresponde a la suma de las alturas de aspiración (Ha) más de impulsión (Hi). La Hg, sumada a las pérdidas de carga por singularidades (codos, reducciones, longitud de cañería, válvulas, etc.), es la altura manométrica y se mide en metros de columna de agua “m.c.a⁵”. Para los cálculos de

⁵ m.c.a: es una unidad de presión que equivale a la presión ejercida por una columna de agua pura de un metro de altura sobre la gravedad terrestre

dimensionamiento se establece que las pérdidas de carga debidas a codos de 90° equivalen a 5 metros lineales de tubería y las debidas a válvulas a 10 metros. (Empresa ESPA, 2011).

La fórmula anterior requiere el cálculo de las pérdidas de carga por aspiración e impulsión de la bomba, vale decir, conocer la longitud de la tubería y la cantidad de singularidades, que son parte de la red hidráulica de la aspiración e impulsión.

Luego de haber calculado todas las singularidades en cuestión, este valor se transforma en longitud de tubería para ser sumado a la longitud de tubería total. Este resultado se transforma a m.c.a utilizando la tabla de pérdidas de carga en tuberías de PVC/polietileno (Anexo I), cruzando los datos de caudal requerido para la recirculación óptima y el mínimo diámetro de tubería permitido de acuerdo al caudal a usar.

Finalmente, el valor de Hm será igual a la suma de las cargas por aspiración e impulsión más las pérdidas de carga por singularidades. En consecuencia, para seleccionar la bomba adecuada y disponible en el mercado, se debe considerar su capacidad para mover el caudal requerido, para el recambio de agua en unidades de cultivo, y debe vencer la presión ejercida por la altura calculada en “m.c.a”.

4.6 Selección del Equipo UV.

Para seleccionar un equipo de desinfección UV, se debe elegir, según catálogo del fabricante, aquel equipo que brinde las unidades de caudal y dosis germicida, requerida para satisfacer la eliminación de las principales bacterias que podrían afectar a la especie a cultivar (Tabla II). A partir del caudal que posee el UV seleccionado, se determina la cantidad de veces que el flujo total del sistema de recirculación es tratado por la luz ultravioleta, para así asegurar que la velocidad de tratamiento del agua es mayor a la reproducción de los gérmenes. Para ello Timmons et al. (2002), recomienda que el volumen total del sistema pase al menos 5 veces por día.

Tabla II. Cantidad de energía UV ($\mu\text{watts}\cdot\text{seg}/\text{cm}^2$) necesaria para la destrucción del 99,9% de varios tipos de bacterias.

Bacterias	Dosis germicida ($\mu\text{watts}\cdot\text{seg}/\text{cm}^2$)
B.megatherium sp (veg.)	2.500
B. megatherium sp (esp)	5.200
Clostridium tetani	22.000
Corynebacterium diphtheriae	6.500
Escherichia coli	6.600
Proteus Vulgaris	8.600
Pseudomonas fluorescens	6.600
Salmonella typhimurium	15.200
S.enteritidis	7.600
S.typhosa	6.000
Dysentery Bacilli	4.200
Shigella dysenteriae	4.200
Staphylococcus albus	5.720
Staphylococcus aureus	7.000
Staphylococcus lactis	8.800
Vibrio cholerae	8.500
Bacillus anthracis	8.700
Mycobact. Tuberculosis	10.000
Pseudomonas aeruginosa	10.500
Flavobacteria	60.000
Aeromonas salmonicida	22.100
Vibrio anguillarum	22.100
Vibrio Salmonidida	29.000
Yersenia rucker	24.000

Fuente: Ficha técnica equipo UV 40, Empresa Biolight S.A., 2016.

4.7 Dimensionamiento del aireador o blower.

Para el dimensionamiento de la potencia del aireador se debe conocer la demanda de oxígeno por kilogramo de pez por hora (DO en kg/h), que exigirá el sistema en pleno funcionamiento. Se sabe que la biomasa es de 100 kg, al momento mayor producción y la temperatura del agua es de 15°C aprox. La demanda de oxígeno de un kilo de trucha arcoiris de 500 gr., a T° 15 °C, es del orden de los 250 mg O₂/kg peces /hr (Blanco,1995).

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} & \text{Demanda de Oxígeno total}(\text{KgO}_2/\text{Hr}) \\ & = 250 ((\text{mgO}_2/\text{Kg})/\text{Hr}) * \text{Biomasa} (\text{Kg}) + \text{consumo biofiltro} \end{aligned}$$

Además el biofiltro, producto la nitrificación, tiene un consumo de 4,6 g O₂/g de TAN nitrificado a nitrato, lo cual es necesario considerarlo en la sumatoria de la demanda de oxígeno. Finalmente para conocer la potencia del aireador se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Potencia aireador (Kw)}: \frac{1,9 * \text{Demanda de oxígeno (KgO}_2/\text{Hr)}}{\text{eficacia transferencia de oxígeno (kgO}_2/\text{Kw)/hr}}$$

Para obtener la eficacia de la transferencia de oxígeno se ocupó la Tabla III en donde, se tomó como eficacia la cota inferior del tipo de burbuja media.

Tabla III. Eficacia de transferencia de oxígeno (kgO₂/kW/hr).

Tipo de Burbuja	Agua con 0 ppm de O ₂	Agua con 6 ppm de O ₂
Burbuja fina	1,2 - 2,0	0,25 - 0,42
Burbuja media	1,0 - 1,6	0,21 - 0,34
Burbuja gruesa	0,6 - 1,2	0,13 - 0,25

Fuente: Catálogo de Equipamiento para acuario o acuicultura, Empresa Blaufish.

Una vez determinada la potencia (Kw), se selecciona un aireador según disponibilidad en el mercado. Posteriormente, el proveedor del aireador seleccionado, deberá entregar la presión en kilo pascales (KPa), con la cual se debe calcular si el equipo produce la presión suficiente, para que el difusor ubicado al fondo del estanque, entregue una burbuja que recorra el largo de la columna de agua del estanque. Se conoce 10 m de profundidad de agua es 1bar de presión equivalente a 10 kPa. Para termino de conversión utilizaremos la siguiente relación, 1 cm de agua equivale a 0,09807 kPa, y aplicando una regla de tres simple, se estima la profundidad, en metros de agua a la cual el aireador es capaz de expulsar el aire a la columna de agua en su totalidad.

5. RESULTADOS

5.1 Selección del filtro mecánico

Se determinó utilizar filtro de bolsa o mangas gracias a que posee una gran capacidad de trabajo además de su bajo costo y ductilidad a la hora de realizar las mantenciones. El micraje a utilizar del filtro, fue de una micra para asegurar la retención de sólidos finos en adelante.

Son 4 filtros que serán ubicados en la parte superior del contenedor, gracias a la creación de un soporte, con esto se logra dividir el flujo de agua de descarga, para maximizando la tasa de carga hidráulica y minimizar las mantenciones futuras de limpieza.

El Contenedor posee una capacidad de un metro cubico (1000x1000x1000 m, ancho, largo y alto) (Figura 4), esta capacidad volumétrica es mayor al volumen total de rebalse de los estanques de cultivo como se muestra en la Tabla IV.

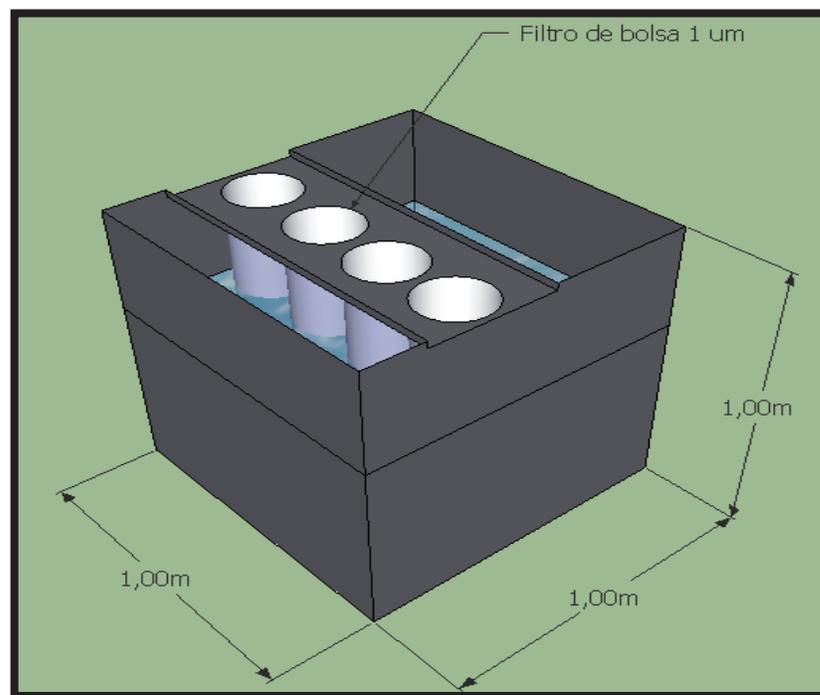
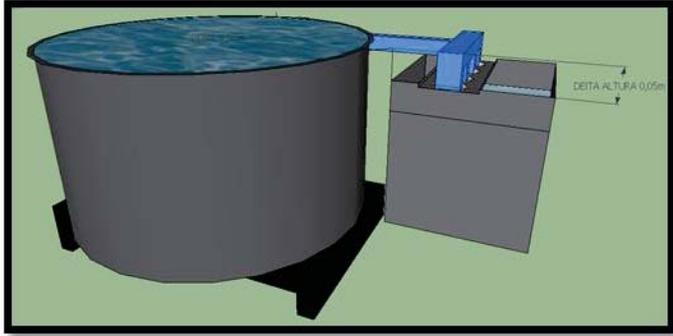


Figura 4. Diseño filtro mecánico⁶.

⁶ Elaboración Propia en el Programa Google SketchUp 8.

Tabla IV. Resultado del volumen total de rebalse.

		
Datos		
Delta Altura	0,05	m
Diámetro estanque	1,9	m
Numero Estanque	6	
Resultado		
Volumen total de rebalse	0,851	m ³
	851	litros

5.2 Dimensionamiento del biofiltro MBBR

A partir de los datos proporcionados por el liceo, que fueron los requerimientos de biomasa de peces a mantener y además de conocer el aporte nutricional del alimento a suministrar, se logra dimensionar un biofiltro de 1650 litros. (Tabla V).

Tabla V. Resultado del dimensionamiento Biofiltro Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR).

CALCULO BIOFILTRO		
Volumen Estanque de cultivo	2,8	m ³
N° estanque	6	
N° peces	200	
Peso Promedio	500	G
Biomasa	100	Kg
Alimento consumido	1	Kg
Proteína	16%	Aporte de proteína de la jibia
kg/ prot/día	0,16	Kg
1kg proteína tiene 16% N		
kg/N/día	0,0256	Kg
el 50% de la excreción de N se conforma como TAN		
	12,8	gTAN/día
Tasa de remoción del biofiltro	0,0126	gTAN/m ² /día
	1016	m ²
Superficie especifica	800	m ² /m ³
Volumen en m ³ de biomedios	1,3	m ³
Volumen en Litros de biomedios	1270	litros
volumen Anox K5 (medio biofiltro)	2E-06	m ³
N° Piezas	646725	
Dimensiones biofiltro	diámetro	alto (m)
Estanque cilíndrico	1	2,1
Volumen biofiltro total (70% biomedio/30 % agua)	1650	litros

5.3 Distribucion espacial de los componentes

Para la construcción del *Lay Out* del sistema de recirculación para la mantención de congrio colorado, se dispone de la siguiente información:

- Dimensiones del taller de acuicultura del Liceo Politécnico B-54 de Lebu:
 - 8,29 metros de largo
 - 5,5 metros de ancho
- Dimensiones Estanque de cultivo

- 1,95 metro de Diámetro
- 1 metros de alto
- Dimensiones Filtro Mecánico
 - 1 metro de largo
 - 1 metro de ancho
 - 1 metro de alto
- Dimensiones Biofiltro
 - 1 metro de Diámetro
 - 2,1 metro de altura

Con la información recopilada se realizó una distribución de todos los componentes del sistema de recirculación en el espacio disponible del liceo, para ratificar que el espacio fuese suficiente para la instalación del sistema y el tránsito y operación de los usuarios, se realizó un Lay OUT 2D en (Figura 5)

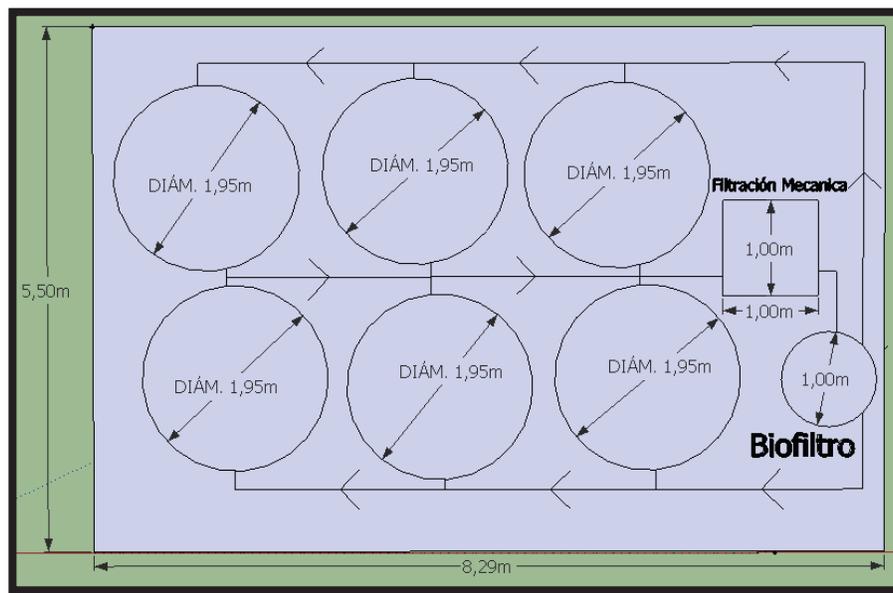


Figura 5. Lay Out 2D Sistema de recirculación para la mantención de congreso⁷.

Para lograr cuantificar y dimensionar el fitting necesario para todo el sistema de recirculación, se determinó llevar a cabo un *lay out* 3D a escala, de manera de visualizar y dimensionar las distancias de PVC, con esto se logra llevar a cabo el sistema de manera más cercana a la realidad (Figura 6).

⁷ Elaboración Propia en el Programa Google SketchUp 8

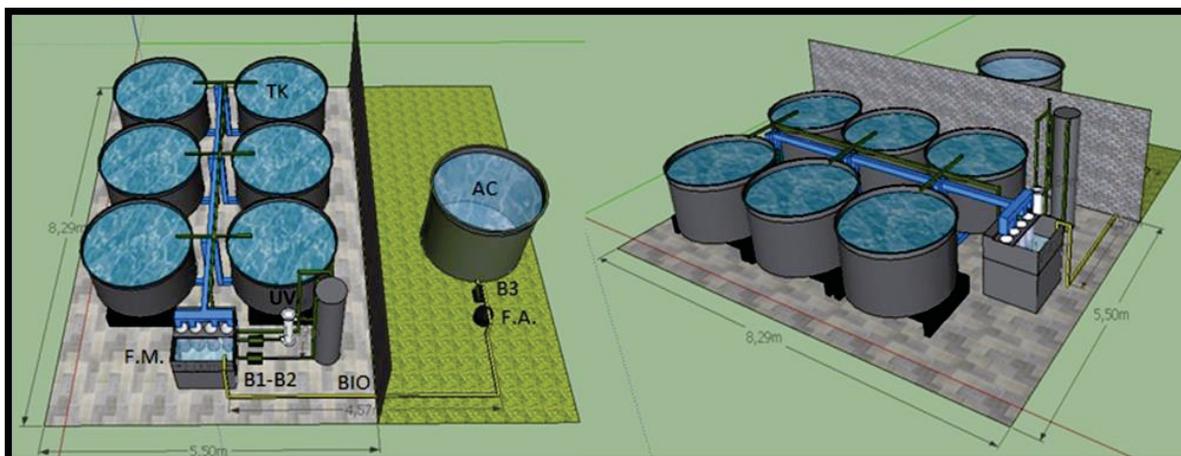


Figura 6. Componentes sistema de recirculación: Unidad de cultivo (TK), Filtración mecánica (F.M.) (Filtro de bolsa), Bomba principal recirculación (B1), Bomba Secundaria (B2) de transmisión hacia el UV, Biofiltro (BIO), Acopio (AC), Bomba Abastecedor (B3), Filtro de arena (F.A.).

La cuantía del fitting necesario para el sistema se llevó a cabo con la visualización del lay out 3D, donde se aprecia los cambios de dirección de la tubería y distancias que se deben abarcar con la canalización de PVC. Las piezas o fitting y las diferentes tuberías que completan el sistema de recirculación suman un total piezas (Tabla VI).

Tabla VI. Número de piezas de fitting necesaria para el sistema.

<i>Fitting Desagüe de Agua</i>	<i>Cantidad</i>
Válvula de bola 50 mm c/ unión Americana	6
TEE 50 mm	6
Codo 90° 50 mm	6
Buje corto reducción 63-50 mm	6
Copla de 50 mm	6
TEE 63 mm	8
Tapa gorro de 63 mm PVC Hidráulica	1
Codo 90° 63mm	12
Salida Estanque 63 mm	2
Tubo PVC 50 mm (6m)	3
Tubo PVC 63 mm (6m)	2
<i>Fitting Ingreso de Agua</i>	<i>Cantidad</i>
Válvula de bola 50 mm c/ unión Americana	6
Codo 90° 63 mm	4
Codo 90° 50 mm	6
TEE 63 mm	6
Buje corto reducción 63-50 mm	6
Tubo PVC 50 mm (6m)	1
Tubo PVC 63 mm (6m)	3

5.4 Cálculo del volumen total del SRA.

Para determinar el volumen total del sistema de recirculación se define con la cuantía de todas las unidades que contengan agua, los resultados se expresan en la Tabla VII.

Tabla VII. Cuantía del volumen total del sistema para su recirculación.

	Cantidad	Volumen útil (L)	Volumen total (L)
Estanques de cultivo	6	2267	13602
Biofiltro	1	1319	1319
Filtro Mecánico	1	800	800
		Volumen total	15722
	Recambio	1	rec/hr
	Resguardo por tubería	10	%
	Caudal total a recircular (Qtr)	17294	l/hr
	Capacidad de caudal UV	3600	l/hr
	Caudal Bomba Principal	13694	l/hr
	Caudal Bomba Secundaria	3600	l/hr

5.4.1 Cálculo de caudal por gravedad.

Luego de tomar en consideración los diámetros y longitud de las tuberías, el delta de altura y las correspondientes perdidas de carga, se estimó que el caudal por gravedad que alimentaría al sistema es de 18,26 m³/hr. (Tabla XIV).

Tabla VIII. Resultados del cálculo de caudal por gravedad proveniente del biofiltro hacia los estanques de cultivo.

CALCULO CAUDAL POR GRAVEDAD			
Diámetro Tubería	D	0,05	m
Delta de altura	ΔH	1,1	m
Longitud Tubería	L	7,8	m
Pérdida de carga por unidad de longitud de tubería	S	0,141	
Coefficiente Williams- Hazems para PVC	C	150	Anexo II
Ecuación Williams –Hazems			
	Qg	0,0052	m ³ /s
	Qg	18,623	m ³ /hr

Se cumple que el caudal por gravedad es mayor que el caudal total requerido por los cual se logra mantener la recirculación de las masas de agua.

5.5 Dimensionamiento de la(s) bomba(s) de recirculación.

De acuerdo a los diferentes componentes del sistema, este requiere recircular un volumen total de agua de 17294 litros (Tabla 7). Para producir una circulación de agua eficiente se dispondrá de dos bombas, una principal para que transporte el agua desde el filtro mecánico hacia el biofiltro y otra bomba secundaria para que se encargue de llevar agua desde el filtro mecánico, pasando por el equipo UV, hasta el biofiltro. Por lo tanto, para lograr un 1 recambio por hora, el caudal se dividirá entre ambas bombas, sabiendo que se conoce la capacidad de caudal del UV.

5.6 Dimensionamiento bomba principal.

Para el dimensionamiento de la bomba se calculó la altura geométrica (H_g), que está dada por la diferencia de altura de los niveles de donde se extrae el agua hasta donde se deposita, es decir, es la diferencia entre la altura de aspiración (H_a) menos la altura de impulsión (H_i) (Figura 7).

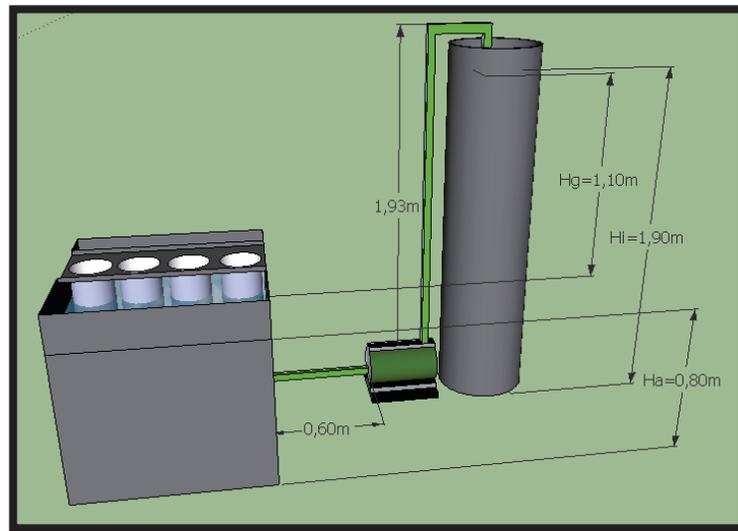


Figura 7. Esquema de las diferencias de altura, bomba principal⁸.

⁸ Fuente Elaboración Propia en el Programa Google SketchUp 8.

Tabla IX. Resultado del cálculo de m.c.a. para la selección de bomba (b1: bomba principal de recirculación) a utilizar en el sistema de recirculación.

Altura impulsión	Hi	1,9	m
Altura aspiración	Ha	0,8	m
Altura geométrica	Hg	1,1	m.c.a.
Aspiración			
Longitud tubería	L	0,6	m
Singularidades	1 codos	5	m
	Suma	5,6	m
Valor tabla	19,7	Anexo I	
	m.c.a.	1,1032	
Impulsión			
Longitud tubería	L	1,93	m
Singularidades	3 codos	15	m
	1 llave	10	m
	Suma	26,93	m
Valor tabla	19,7	Anexo I	
	m.c.a.	5,30521	
Altura manométrica total (Hm)		7,5	m.c.a.

Para la selección de la bomba entre los proveedores, se debe tener en cuenta el caudal a recircular para un recambio óptimo del sistema 13694 l/hr (228,2 l/min) a una presión de 7,5 m.c.a (Tabla VIII).

La selección de la bomba principal se realizó según las tablas de rango de caudal y presión (Tabla IX) que entrega el proveedor, con ellos se contrasta el caudal y presión requerido con el caudal y presión proporcionado por la bomba seleccionada. (Tabla X).

Tabla X. Rango Caudal /presión de trabajo de la Bomba Espa Silen 150 M.

Caudal (Lts/min)	Presión (MCA)
40	18.6
80	18.2
120	17.7
160	16.9
215	15.1
265	13
290	11.9
325	10
300	8.4
400	5.1

Fuente: www.espa.com

Tabla XI. Especificaciones técnica bomba Principal seleccionada.

	BOMBA Centrifuga	
	Marca	ESPA
	Modelo	SILEN 150M
	Potencia y consumo eléctrico	1.5HP 220V 7.1AMP

Fuente: www.espa.com

5.7 Dimensionamiento Bomba Secundaria.

Para el dimensionamiento de la bomba secundaria se procedió de la misma forma que la bomba principal, comenzando con el cálculo de la altura geométrica Hg (Figura 8).

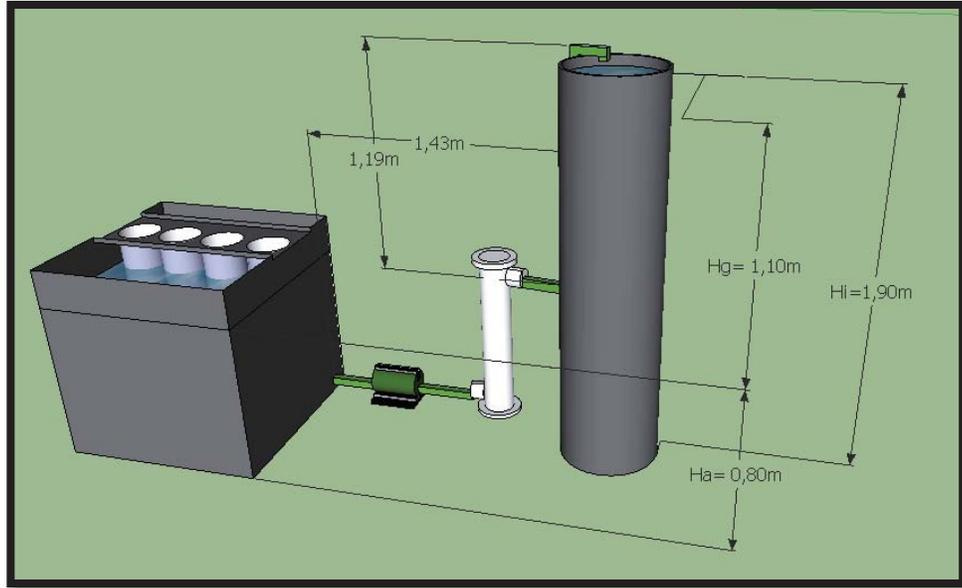


Figura 8. Esquema de las diferencias de altura, bomba secundaria⁹.

⁹ Fuente Elaboración Propia en el Programa Google SketchUp 8.

Tabla XII. Resultado del cálculo de m.c.a. para la selección de bomba (B1: bomba secundaria) a utilizar en el sistema de recirculación.

QAltura impulsión	Hi	1,9	m
Altura aspiración	Ha	0,8	m
Altura geométrica	Hg	1,1	m.c.a.
QAspiración			
Longitud tubería	L	0,6	m
Singularidades	1 codos	5	m
	Suma	5,6	m
Valor tabla	0,8	Anexo I	
	m.c.a.	0,0448	
Impulsión			
Longitud tubería	L	2,02	m
Singularidades	3 codos	15	m
	1 llave	10	m
	UV	15	m
	Suma	42,02	m
Valor tabla	0,8	Anexo I	
	m.c.a.	0,33616	
Altura manométrica total		1,48096	m.c.a.

Para la selección de la bomba entre los proveedores, se debe tener en cuenta el caudal a recircular de 3600 l/hr (60 l/min) a una presión de 1,48 m.c.a.(Tabla XI).

La selección de la bomba secundaria se realizó según las tablas de rango de caudal y presión (Tabla XII) que entrega el proveedor, con ellos se contractar el caudal y presión requerido con el caudal y presión proporcionado por la bomba seleccionada (Tabla XIII).

Tabla XIII. Rango Caudal /presión de trabajo de la Bomba Espa IRIS 500M.

Caudal (Lts/min)	Presión (MCA)
25	10.2
50	9.7
100	7.2
120	6
65	2

Fuente: www.espa.com

Tabla XIV. Especificaciones técnica bomba secundaria seleccionada.

	BOMBA Centrífuga	
	Marca	ESPA
	Modelo	IRIS 500M
	Potencia y consumo eléctrico	0.5HP 220V 2AMP

Fuente: www.espa.com

5.8 Selección de Equipo UV.

La selección de la unidad UV se determinó según especificaciones técnicas del catálogo del fabricante Biolight (Tabla XV). De acuerdo a los datos entregados por el proveedor, el equipo Modelo UV-40, posee la cantidad de energía ultravioleta (dosis) necesaria para la destrucción del 99,9% de varios microorganismos. Además, se conoce el caudal que podrá soportar la unidad UV y el volumen total del sistema de recirculación se determina que alrededor de 5,5 veces por día el agua total del sistema pasara por la unidad UV. Con esto se asegura una aplicación eficiente de la dosis germicida al agua a tratar.

Tabla XV. Ficha técnica Equipo UV 40.

Marca	BioLight®
Modelo	UV – 40
Capacidad nominal	3.6 m ³ /h
Dosis germicida a la capacidad nominal	30.000 μwatts·seg/cm ²
Potencia por lámpara	40 watts
Número de lámparas	1
Material carcasa	PVC.
Material tubos protectores	Cuarzo
Material lámparas germicidas	99% Si O ₂
Presión máxima de trabajo	80 psi
Conexiones entrada/salida	63 mm.

Fuente: Ficha técnica equipo UV 40¹⁰.

5.9 Dimensionamiento del aireador o Blower

La potencia del blower fue definido por la demanda de los peces y el biofiltro, para determinar si la aireación tendrá la presión suficiente para abarcar la columna de agua del estanque, se precisa conocer la presión del aireador o blower, la cual fue calculada en 9,087 Kpa para los estanques del sistema. Por consiguiente, el blower o aireador necesario para el sistema, debe poseer una potencia de al menos 248,4 watts y una presión de trabajo de 9,087 Kpa. (Tabla XVI).

Tabla XVI. Resultado del dimensionamiento de la unidad de aireación del SRA.

Demanda de oxígeno peces	25000	mgO₂/hr
	25	gO ₂ /hr
Demanda de oxígeno biofiltro	58,88	gO ₂
	2,45	gO ₂ /hr
Demanda de oxígeno Total	27,45	gO ₂ /hr
	0,03	KgO ₂ /hr
Potencia Blower	0,248	Kw
	248,4	Watts

¹⁰ Empresa Biolight S.A., 2016.

Finalmente la selección del blower del mercado se entrega la descripción en la tabla XVII.

Tabla XVII. Ficha técnica del Blower HG- 250.

Marca	Sun Sun	
Modelo	HG-250	
Potencia	250 W	
Presion	78 Kpa	

Fuente: Empresa SUN SUN.

6. DISCUSION

La filtración mecánica mediante filtro de manga o bolsa, entrega una barrera física eficiente de retención de sólidos finos para grandes caudales de agua a bajo costo de fabricación. Además de cumplir con la remoción de sólidos finos, son de fácil limpieza en comparación con otros filtros mecánicos. Entre estos últimos se encuentran los filtros de cartucho e hidrociclones (Timmons and Losordo, 1994), cuyo valor es demasiado elevado para el presupuesto que se manejaba para implementar el sistema de recirculación. Asimismo, También, producen mayor pérdida de carga al caudal dificultando la óptima recirculación. Por estas razones fueron descartados.

EL filtro biológico seleccionado corresponde a un Biofiltro de Película biológica de lecho móvil MBBR. Estos reactores corresponden a la categoría de filtros sumergidos de expansión, lo cuales han sido usados con gran éxito para el tratamiento biológico en los cultivos de peces. Los MBBR utilizan portadores de biofilm plásticos de un diseño único, para maximizar el área de superficie del biofilm activo en los reactores. Estos reactores tienen una insignificante pérdida de carga, no necesitan de un retrolavado periódico y no son susceptibles a la obstrucción (Rusten et al., 2006).

El dimensionamiento de dos bombas en el sistema fue una decisión que se tomó en base a la eventualidad de que hubiese algún problema con alguna de ellas, ya que de esta manera a lo menos una podría continuar con la recirculación. En el caso de que esto sucediera, se espera una disminución de la tasa de recambio, pero se asegura un intervalo de respuesta mayor en el caso de falla.

Según el proveedor de equipamiento de sistemas de recirculación Blaufish, en acuicultura el tipo de bomba más utilizado en los sistemas de recirculación son las bombas centrífugas. Debido a que son equipos que están en constante contacto con el agua es fundamental utilizar materiales resistentes a la corrosión marina. Por otro lado, para escoger la bomba adecuada para cada tipo de instalación es importante tener en cuenta los siguientes parámetros de instalación: caudal, altura geográfica, pérdida de carga y altura manométrica.

Considerando los criterios antes mencionado, las bombas seleccionadas fueron bombas centrífugas monocelulares autoaspirantes, con prefiltro incorporado. Adicionalmente, es importante mencionar que son completamente silenciosas.

Los materiales de fabricación de la bomba son anti corrosivo, vale decir el cuerpo de la bomba, el pie, el difusor y el rodete son de tecnopolimero. El eje del motor es de acero inoxidable y la carcasa de aluminio.

La metodología para su dimensionamiento considera la altura geométrica y manométrica según las características de instalación, además de cuantificar cualitativamente todas las pérdidas de cargas involucradas en la instalación. Siguiendo estos parámetros, se decidió ocupar bombas centrifugas marca ESPA.

La determinación de utilizar equipo UV fue en base a Rosenthal (1981), ya que este autor señala que son equipos utilizados comúnmente para la desinfección de agua de mar y dulce, además de ser usados comúnmente para el control bacteriológico en sistemas de recirculación.

Illánés (1995) da cuenta de los principales patógenos que podría afectar un cultivo de recirculación de agua salada: *Vibrio*, *Pseudomona* y *Aeromonas*. Por otro lado, en base a la información disponible en la Tabla II, proporcionada por Biolight, la dosis germicida para su eliminación corresponden a 29.000, 10.500 y 22.100 $\mu\text{watts}\cdot\text{seg}/\text{cm}$, respectivamente. Por lo tanto, la dosis de 30.000 $\mu\text{watts}\cdot\text{seg}/\text{cm}^2$, entregada por el filtro UV modelo UV – 40 marca Biolight es suficiente para mantener el agua libre de estas bacterias.

Para la instalación de un aireador o blowers es fundamental considerar la importancia que tiene para la acuicultura el adecuado intercambio de gases en el agua, no solo para disponer de la concentración apropiada de oxígeno en el sistema, sino que también para eliminar los excesos de gases resultantes del metabolismo de los propios organismos (CO_2 y N_2) (Blaufish , 2011). De acuerdo a estas necesidades, se dimensionó un equipo de aireación calculando la potencia y presión necesaria para vencer la columna de agua. De esta manera se espera asegurar un caudal y una aireación constante en el estanque.

7. CONCLUSIONES

La selección y dimensionamiento de unidades de tratamiento de agua para el sistema de recirculación del liceo técnico profesional Dr. Rigoberto Iglesias Bastías de Lebu, se realizaron en base a criterios de funcionalidad y calidad, pero además considerando los precios de los equipos. Los componentes escogidos corresponden a un filtro mecánico por mangas, biofiltro de película biológica de lecho móvil o moving bed, dos bombas de recirculación, un equipo de desinfección UV y un equipo de aireación. El detalle de cada uno se indica a continuación:

- El filtro mecánico por mangas, son cuatro unidades de una micra de filtrado, que están instalados en un contenedor de dimensiones 1000x1000x1000 mm , con una capacidad volumétrica de 1 metro cubico.
- Biofiltro de película biológica de lecho móvil o moving bed , es un estanque cilíndrico de dimensiones 1m de diámetro y 2,1 m de altura , de un volumen de 1650 metros cúbicos , en su interior contiene un volumen de 1270 litros de biomedios modelo Anox K5.
- Dos bombas de recirculación, una principal y otra secundaria ambas marca ESPA, Modelos Silen 150M y Iris 500M , de potencias de 1,5Hp y 0,5Hp respectivamente.
- Equipo de Desinfección UV, Modelo UV-40 de material de fabricación PVC, con una capacidad nominal de 3,6 m³/h, el cual posee una lámpara de sílice que entrega una dosis germicida de 30.000 $\mu\text{watts}\cdot\text{seg}/\text{cm}^2$.
- Equipo de Aireación, Modelos HG-250 con características técnicas potencia de 250 W y una presión e trabajo máxima de 78 Kpa.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Andersson A, Johanssona N, & Christensson M. 2014. Increased nitrogen removal in existing volumns at Sundet waste water treat ment plant.

Atland, A. & V. Bjerknes. 2009. Calidad de agua para el cultivo de smolts en Chile. Niva Chile, Osorno, 139 pp.

Breton, B. 2005. El cultivo de la trucha. Ediciones Omega. Barcelona, España. 379 p.

Breton, B. 2007. El cultivo de la trucha, principales especies de cría infraestructura, técnicas de alevinaje, genética, alimentación, gestión de la producción, higiene y comercialización. Ediciones Omega, Barcelona. 389 pp.

Cardenas S.2008. MASTER EN ACUICULTURA Y PESCA UCA, Campus Río San Pedro, Puerto Real, Sistema de recirculación en acuicultura.

Chen, S. , J. Ling & J.P. Blancheton. 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. Aquacult. Eng. **34**: 179-197.

Empresa Biolight S.A(s/f). Página Web: www.biolight.cl

Empresa Blaufish. 2010. Catalogo Equipamiento para acuarios y acuicultura,52pp.

Empresa ESPA. 2011. Guía práctica para seleccionar una bomba ESPA. Pp 04-09.

Jover M., Martínez S., Tomás A., Pérez L. 2003. Propuesta metodológica para el diseño de instalaciones piscícolas.5pp.

Illánes J.E 1995. Curso internacional de cultivo de moluscos, Universidad Católica del Norte. pp Chile 265-289.

Malone R.F. & T.J. Pfeiffer. 2006. Rating fixed film nitrifying biofilters used in recirculating aquaculture systems. Aquacult. Eng. **34**: 389–402.

Michael,E.,Thomas,M. , Thomas E. , Rocky,D. 2002. Computer Applications in Hydraulic Engineering 5 ° Edition Haestad Methods.

Murray, R., D.Dender, K.Botham, P.Kennelly, V.Rodwell&P.Weil.2009. Harper Bioquímica ilustrada. McGraw Hill. Santiago, 31pp.

Lekang, O.I. 2007. Aquaculture Engineering. Blackwell Publishing, Oxford. 340 pp.

Ling J. & S. Chen. 2005. Impact of organic carbon on nitrification performance of different biofilters. *Aquacult. Eng.* **33**: 150–162.

Orellana, J., U. Waller & B. Wecker, 2014. Culture of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) in a marine recirculating aquaculture system (RAS) with artificial seawater. *Aquacult Eng.* **58**: 20-28.

Parker, R. 2002. *Aquaculture Science*. Delmar, New York, 621 pp.

Pizarro, C. 2015. Tasa de remoción de nitrógeno amoniacal total en biofiltros aeróbicos para tres tipos diferentes de bioportadores. 04-13

Rebolledo & M.H. Werkmeiste. 2002. Sistema de recirculación para la acuicultura. Fundación Chile. Santiago. 778 pp.

H. Rosenthal, 1981. Cryopreservation of marine unicellular algae and early life stages of fish for use in mariculture. *Intensive aquaculture*

Timmons, M.B., J.M. Ebeling, F.W. Wheaton., S.T. Summerfelt., B.J. Vinci., G.P. 2010. *Recirculating Aquaculture*. Cayunga Aqua Ventures. 947 pp

Wheaton, F.W. 1982. *Acuicultura: Diseño y construcción de sistemas*. AGT Editor, New York, 232 pp.

Zhu S. & S. Chen. 2001. Impacts of Reynolds number on nitrification biofilm kinetics. *Aquacult. Eng.* **24**: 213–229.

9. ANEXOS

Anexo I Tabla de Pérdidas de Carga en las tuberías de PVC/ polietileno 1

Litros por horas	En diámetros interiores de tuberías en mm											
	14	19	25	32	38	50	63	75	89	100	125	150
	metros manométricos por cada 100 metros de recorrido horizontal recto											
500	8,9	2,1	0,6									
800	20,2	4,7	1,3	0,4								
1000	29,8	7	1,9	0,6								
1500		14,2	3,9	1,2	0,5							
2000		23,5	6,4	2	0,9							
2500			9,4	2,9	1,3	0,4						
3000			13	4	1,8	0,5	0,2					
3500			17	5,3	2,3	0,6	0,2					
4000			21,5	6,6	2,9	0,8	0,3	0,1				
4500				8,2	3,6	1	0,3	0,1				
5000				9,8	4,3	1,2	0,4	0,2				
5500				11,6	5,1	1,4	0,5	0,2				
6000				13,5	6	1,6	0,5	0,2				
6500				15,5	6,9	1,9	0,6	0,3				
7000				17,7	7,8	2,1	0,7	0,3				
8000				22,4	9,9	2,7	0,9	0,4	0,2			
9000					12,1	3,3	1,1	0,5	0,2			
10000					14,6	4	1,3	0,6	0,3	0,1		
12000					20,1	5,5	1,8	1,8	0,4	0,2		
15000					29,7	8,1	2,7	1,2	0,5	0,3		
18000						11,1	3,7	1,6	0,7	0,4	0,1	
20000						13,3	4,5	1,9	0,9	0,5	0,2	
25000						19,7	6,6	2,9	1,3	0,7	0,3	
30000							9	4	1,8	1	0,3	0,1
35000							11,8	5,2	2,3	1,3	0,5	0,2
40000							15	6,5	2,9	1,7	0,6	0,2
45000							18,4	8	3,6	2	0,7	0,3
50000								9,7	4,3	2,5	0,9	0,4

Nota : para otras tuberías se recomienda multiplicar los valores de las pérdidas de carga obtenidos en la tabla por los siguientes : Tuberías fibrocemento: 1,2
Tuberías hierro galvanizado: 1,5

Fuente: Guía práctica para seleccionar una bomba, Empresa ESPA.

Anexo II Tabla de coeficientes para diferentes tipos de Materiales.

Materiales	Coeficiente de Manning n	Coef. Hazen-Williams C_μ	Coef. Rugosidad Absoluta e(mm)
Asbesto cemento	0,011	140	0,0015
Latón	0,011	135	0,0015
Tabique	0,015	100	0,6
Fierro Fundido (nuevo)	0,012	130	0,26
Concreto (Cimbra Metálica)	0,011	140	0,18
Concreto (Cimbra Madera)	0,015	120	0,6
Concreto Simple	0,013	135	0,36
Cobre	0,011	135	0,0015
Acero Corrugado	0,022	-	45
Acero galvanizado	0,016	120	0,025
Acero (esmaltado)	0,01	148	0,0048
Acero (nuevo, sin recubrim.)	0,011	145	0,045
Acero (remachado)	0,019	110	0,9
Plomo	0,011	135	0,0015
Plástico (PVC)	0,009	150	0,0015
Madera(duelas)	0,012	120	0,18
Vidrio (laboratorio)	0,011	140	0,0015

Fuente: Computer Applications in Hydraulic Engineering 5 ° Edition Haestad Methods