



PERÚ

Ministerio  
de la Producción



# INSTRUCTIVO PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCION Y MANEJO DE SISTEMAS DE RECIRCULACION

## EN EL CULTIVO DE PACO











**Ministerio de la Producción**  
**Despacho Viceministerial de Pesca y Acuicultura**  
Dirección General de Acuicultura  
Dirección de Promoción y Desarrollo Acuícola

Elaborado por:  
Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

**2018**

















## INDICE

### INSTRUCTIVO PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCION Y MANEJO DE SISTEMAS DE RECIRCULACION EN EL CULTIVO DE PACO

<b>INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>I. ASPECTOS GENERALES</b>	<b>2</b>
<b>1.1.-ANTECEDENTES</b>	<b>2</b>
1.1.1.- La Acuicultura en la Amazonía Peruana	2
1.1.2.- Tecnología de Recirculación Cerrada en Sudamérica	5
1.1.3.- Tecnología de Recirculación Cerrada en el Perú	10
1.1.4.- El “PORQUE” Hacer Sistemas de Recirculación en el Perú	13
<b>1.2.- SISTEMAS DE RECIRCULACION EN ACUICULTURA (RAS)</b>	<b>15</b>
1.2.1.- Definición de Sistema de Recirculación en Acuicultura (RAS)	15
1.2.1.1- Sistemas Abiertos	15
1.2.1.2- Sistemas Semi-Cerrados	15
1.2.1.3- Sistemas de Recirculación Acuícola	16
1.2.1.4- Tecnología de Biofloc	17
1.2.1.5- ¿Qué es el floc bacteriano?	17
1.2.1.6- Sistemas de Acuaponía	17
1.2.1.7- Diseños de Acuaponía	18
1.2.2.- Ventajas y Desventajas de un Sistema de Recirculación Acuícola	19
1.2.2.1- Ventajas de un Sistema de Recirculación Acuícola	19
1.2.2.2- Desventajas de un Sistema de Recirculación Acuícola	21
1.2.3.- Diferencias entre Sistemas de Biofloc, Sistemas de Recirculación y Sistemas de Acuaponía	22
1.2.4.- Componentes y su Funcionamiento en un Sistema de Recirculación Acuícola	24
1.2.4.1- Circulación	24
1.2.4.1.1- Tanques de Peces	24
1.2.4.1.2- Bombas Centrífugas	25
1.2.4.1.3- Bombas de Flujo Axial	25
1.2.4.1.4- Bombeo por Aire	25
1.2.4.2- Remoción de Sólidos	26
1.2.4.3- Remoción de Amonio	32
1.2.4.4- Desgasificación	39
1.2.4.5- Aireación y/o Oxigenación	39
<b>1.3.- BIOLOGIA Y BALANCES DE NUTRIENTES</b>	<b>43</b>
1.3.1.- Biología de Peces Amazónicos	43
1.3.2.- Balance de Masas y Estimados de Flujos	45
1.3.2.1- Ejercicio de Balance de Masas	55
1.3.2.2- Estimados de Flujos y Balance de Masas	58
1.3.2.2.1- Estimados de Flujos y Balance de Masas para Remoción de Sólidos	58
1.3.2.2.2- Estimados de Flujos y Balance de Masas para Nitrógeno Amoniacal Total	61



1.3.2.2.3- Estimados de Flujos y Balance de Masas para Remoción de Dióxido de Carbono	64
1.3.2.2.4- Estimados de Flujos y Balance de Masas para Aireación	67
<b>II. INGENIERIA Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE RECIRCULACION PARA EL CULTIVO DE PACO</b>	<b>71</b>
<b>2.1.- HIDRAULICA DE TANQUE DE PECES</b>	<b>72</b>
<b>2.2.- PERDIDAS POR FRICCIÓN DE TUBERIAS</b>	<b>73</b>
<b>2.3.- CALCULO DE POTENCIA DE LA BOMBA</b>	<b>86</b>
<b>2.4.- DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA DE AIREACION</b>	<b>87</b>
<b>2.5.- DISPOSICION GENERAL DEL SISTEMA DE RECIRCULACION</b>	<b>90</b>
2.5.1.- Circulación	90
2.5.2.- Remoción de Sólidos	91
2.5.3.- Dimensionamiento del Mineralizador (Remoción de Sólidos Solubles)	96
2.5.4.- Cantidad de Malla para el Mineralizador	96
2.5.5.- Diseño de Unidad de Biofiltración	97
2.5.6.- Unidad de Tanque de Compensación o Sumidero	100
<b>2.6.- CONSTRUCCION E INSTALACION DE SISTEMAS DE RECIRCULACION PARA CULTIVO DE PACO</b>	
2.6.1.- Obras Civiles	102
2.6.2.- Diseño e Instalación de Tanques de Cultivo de Peces	103
2.6.3.- Instalación de Sedimentador Compacto	104
2.6.4.- Instalación de Unidad de Mineralización	105
2.6.5.- Unidad de Biofiltración o de Remoción de Amonio	106
2.6.6.- Tanque de Compensación o Sumidero	107
2.6.7.- Invernadero	108
<b>III. MANEJO TECNICO DE UN SISTEMA DE RECIRCULACION COMERCIAL PARA EL CULTIVO DE PACO</b>	
<b>3.1.- ACLIMATACION Y MADURACION DE UN SISTEMA DE BIOFILTRACION</b>	<b>109</b>
3.1.1.- Primer paso	109
3.1.2.- Segundo paso	109
3.1.3.- Tercer paso	110
3.1.4.- Cuarto paso	110
<b>3.2.- PLAN DE PRODUCCION</b>	<b>111</b>
<b>3.3.- TABLA Y MANEJO NUTRICIONAL DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN EL CULTIVO DE PACO</b>	<b>112</b>
3.3.1.- Etapa de Alevinaje	112
3.3.2.- Etapa de Crecimiento	113
3.3.3.- Etapa de Engorde I	113
<b>3.4.- LA SIEMBRA DE PECES EN TANQUES DE CULTIVO</b>	<b>114</b>

<b>3.5.- MANEJO Y DESARROLLO EN FASE DE LEVANTE</b>	<b>115</b>
3.5.1.- Manejo de Sólidos	115
3.5.2.- Manejo de Calidad de Agua	115
<b>3.6.- MANEJO Y DESARROLLO EN FASE DE ENGORDA</b>	<b>116</b>
3.6.1.- Manejo de Sólidos	116
3.6.2.- Mineralizador	116
3.6.3.- Manejo de Calidad de Agua	117
3.6.4.- Tanques de peces	117
<b>3.7.- COSECHA Y MANEJO DE TANQUES DESPUES DE LA COSECHA</b>	<b>117</b>
 <b>IV. RENTABILIDAD ECONOMICA DE SISTEMAS DE RECIRCULACION EN ACUICULTURA PARA EL CULTIVO DE PACO</b>	
<b>4.1.- INVERSION INICIAL</b>	<b>118</b>
<b>4.2.- COSTOS DE ALIMENTACION Y GASTOS DE ENERGIA ELECTRICA</b>	<b>124</b>
<b>4.3.- ESCENARIO DE VENTA DIRECTA</b>	<b>126</b>
<b>4.4.- ESCENARIO DE VENTA CON VALOR AGREGADO “CASO RESTAURANTE TURÍSTICO”</b>	<b>127</b>
<b>4.5.- TASA INTERNA DE RETORNO Y VALOR ACTUAL NETO</b>	<b>128</b>
<b>4.6.- UTILIDAD NETA Y RECUPERACION DE INVERSION SEGUN ESCENARIOS DE VENTAS</b>	<b>132</b>
<b>4.7.- UTILIDAD NETA POR TANQUE Y PRODUCTIVIDAD DE LA TIERRA</b>	<b>134</b>
<b>4.8.- PRODUCTIVIDAD DE MANO DE OBRA Y PRODUCCION DE ORGANISMOS</b>	<b>136</b>
 <b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>137</b>
<b>5.1.- CONCLUSIONES</b>	<b>137</b>
<b>5.2.- RECOMENDACIONES</b>	<b>138</b>
 <b>VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>139</b>



# INSTRUCTIVO PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCION Y MANEJO DE SISTEMAS DE RECIRCULACION EN EL CULTIVO DE PACO

## INTRODUCCION

La acuicultura se viene constituyendo en una de las principales fuentes de producción de alimento, y su papel en el futuro será mucho más trascendental, la producción mundial ha ido aumentando constantemente y se ha duplicado más en la última década (FAO, 2016).

La acuicultura tradicional requiere de grandes cantidades de agua y grandes extensiones de terreno; apreciándose, en algunas áreas de los países de Latinoamérica, que el agua es un recurso que escasea cada vez más por crecimiento poblacional, cambio climático, etc.

En este contexto, las nuevas tecnologías de producción en sistemas de recirculación acuícola se constituyen en una alternativa al cultivo de organismos acuáticos, basado en la reutilización del agua previamente tratada de manera física, química y biológica, el sistema utiliza menos del 10% del agua requerida en comparación a una producción convencional por estanque para producir rendimientos similares, además de proporcionar un ambiente adecuado para promover el crecimiento de los cultivos acuáticos, parámetros que incluyen concentraciones de oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, nitritos, dióxido de carbono, temperatura, pH y los niveles de alcalinidad, además de presentarse como una alternativa de solución para las cuestiones que deben abordarse en acuicultura que según la FAO son: los impactos ambientales, tecnología apropiada y el control de las enfermedades.

La finalidad de este instructivo será acercar al acuicultor e interesado en incursionar en la actividad acuícola en la Amazonía Peruana, a las nuevas tecnologías innovadoras e inspirarlo a que pueda adecuarse del cultivo tradicional a utilizar sistemas de recirculación acuícola, que son amigables con el ambiente y rentables económicamente.

## I. ASPECTOS GENERALES

### 1.1 . -ANTECEDENTES

#### 1.1.1.- La Acuicultura en la Amazonía Peruana

En los últimos 10 años la producción acuícola en el Perú ha tenido un incremento significativo, aun así, nos encontramos dentro de los países de más baja producción acuícola en Latinoamérica, esto se debe a varios factores, el principal es la escasa tecnología desarrollada para los cultivos.

El Perú posee una gran diversidad de especies y de ambientes (mega-diversidad) que dan un amplio margen al desarrollo acuícola variado y competitivo, consideramos que ha llegado el tiempo de aprovechar esas ventajas. Dentro de la especie de agua dulce que se cultiva en la costa peruana tenemos la tilapia, básicamente en la costa norte, en la sierra tenemos a la trucha y en la amazonia la gamitana (*Colossoma macropomun*), el paco (*Piaractus brachypomus*), paiche (*Arapaima gigas*), algunos híbridos derivados de ellos como es la pacotana (cruce del paco con la gamitana), sábalo cola roja (*Brycon erythropterus*). Debe señalarse que el paiche “*Arapaima gigas*”, es un pez que cuenta con una tasa de crecimiento muy alta, pudiendo llegar a los 12 kg. en un año, lo que le convierte en una de las especies dulceacuícolas de mayor crecimiento a nivel mundial. La cosecha en el año 2017 fue de 1,624 Tm de paco, seguida de 1,047 Tm de gamitana, el paiche con 218 Tm, sábalo con 84 Tm y de 58 Tm de boquichico (PRODUCE-2017).

**FIG 1 IVITA-PUCALLPA CULTIVO EXTENSIVO**



Fuente: IVITA - PUCALLPA



**Tabla I. Tipos de cultivo y su descripción**

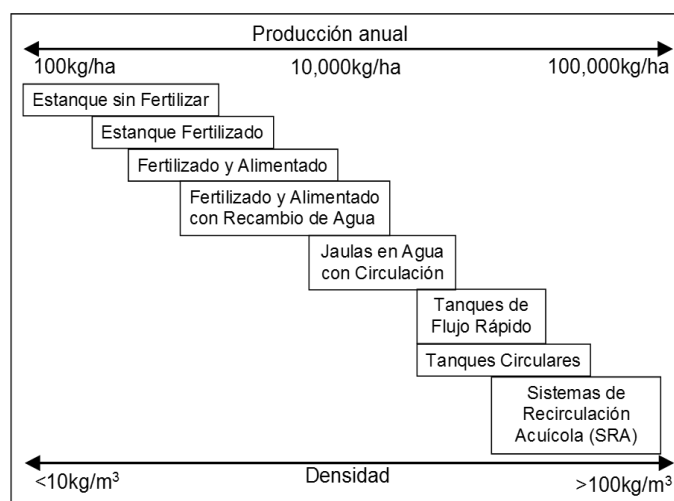
<b>Extensivo</b>	Todos los requerimientos nutricionales se derivan de fuentes naturales sin intervención deliberada del hombre
<b>Semintensivo</b>	La capacidad de carga del sistema es alcanzada con la fertilización intencional o utilizando alimento complementario
<b>Intensivo</b>	Todos los requerimientos nutricionales se satisfacen con fuentes externas
<b>Acuicultura de subsistencia</b>	Actividad realizada por una familia o grupo de familias y el producto es consumido principalmente por los productores o es intercambiado
<b>Acuicultura domestica</b>	Consumo del producto dentro del país, la remuneración del productor se da en moneda nacional
<b>Acuicultura de exportación</b>	Tiene como fin principal la exportación del producto a otros países y la remuneración al productor, se da a través de cooperativas o en los mercados internacionales

Fuente: Mayo, Glude y Strand (1984)

En base a esta clasificación podemos decir que la acuicultura en la selva del Perú está en un nivel extensivo en su mayoría, la cual correspondería a la categoría de Acuicultura de Recursos Limitados –AREL (de subsistencia) y a un nivel semintensivo, la cual correspondería a la categoría de Acuicultura de Micro y Pequeña Empresa-AMYPE (doméstica). El cultivo se lleva a cabo en estanques mediante el almacenamiento de agua proveniente de las quebradas y de lluvias.

En la actualidad existen otros tipos de clasificaciones que describe los sistemas desde un punto de vista de producción, tal es el caso de Stickney (2000), que presenta un esquema en función de su nivel de densidad y producción.

### **Clasificación de los tipos de cultivo acuícola en función de su nivel de densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) y producción anual ( $\text{kg}/\text{ha}$ )**



Fuente: Stickney 2000

Debemos decir que la acuicultura en la selva peruana alcanza solo hasta el uso de fertilizado y alimentado con recambio de agua. Asimismo, las densidades de cultivo son bastante bajas oscilando entre 1 y 5 peces/m<sup>2</sup>.

Existen ciertos factores que impiden el despegue de la acuicultura de las categorías AREL y AMYPE, que están muy bien descritos dentro del planeamiento estratégico elaborado por la (FAO 2015).

Aquí detallan cuales son los obstáculos que impiden el despegue de la acuicultura peruana y estas son:

1. Informalidad en la operatividad de las granjas acuícolas: producto de una ineficiente gestión, así como de una informalidad empresarial.
2. Serias dificultades para acceder a insumos, servicios de capacitación y asistencia técnica.
3. No existen programas de postgrado para la formación de especialistas de campo (tecnologías acuícolas, genética, etc.)
4. Escasa o casi nula formación de técnicos en acuicultura que asciende a 14 por año (Lineamiento estratégico de la FAO) donde se indica que los técnicos son personas que apenas han acabado la secundaria y carecen de todo conocimiento de manejo de organismos.

Se han hecho esfuerzos para mejorar las tecnologías de cultivo en la selva peruana, entre ellos tenemos los fondos de Innóvate Perú con sus programas de PIMEN, PIPEI que han permitido desarrollar proyectos viables a productores de pequeña escala y/o de subsistencia con tecnología de tipo intensiva, tal es el caso del Proyecto de Sistemas de recirculación para el cultivo de Paco en Madre de Dios. Donde se ha cambiado la mentalidad del acuicultor que acostumbra cultivar 1 pez por cada mil litros de agua a espacios muy reducidos y con alta densidad de cultivo para pez paco.

**FIG 2 SISTEMA RECIRCULACIÓN DE PACO MADRE DE DIOS**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### 1.1.2.- Tecnología de Recirculación Cerrada en Sudamérica

Los sistemas de recirculación en acuicultura tienen un desarrollo no menor de 30 años principalmente en EEUU y Europa, dentro de los principales centros de estudios que vienen desarrollando estas tecnologías tenemos: la Universidad de Louisiana State con el profesor emérito Dr. Ronald Malone, la Universidad de Cornell con el Fresh Water Institute y finalmente universidades de países nórdicos. Cada centro de estudios tiene su filosofía y su propia visión de desarrollo para este tipo de tecnologías.

**FIG 3 AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGIES FIT™**



Fuente: AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGIES

Para comprender mejor el desarrollo de este tipo de tecnologías debemos entender el fundamento o el diseño de sus sistemas y el concepto que tienen para desarrollarlas.

Por ejemplo el Dr. Ronald Malone sostiene que, el concepto es cubrir todos los procesos que implican el mantener una óptima calidad de agua para el cultivo según la especie y estadio con el mayor ahorro posible en electricidad, espacio y principalmente agua, es decir en el concepto de un sistema de recirculación acuícola se tiene 5 procesos unitarios que son: la circulación, la remoción de sólidos, remoción de amonio, desgasificación y la aireación; usualmente existe un componente por cada proceso unitario y la eficiencia la determina el manejo del usuario, en los sistemas desarrollados por el Dr. Malone unifica todos los procesos en un solo componente que es el Poligeyser.

La Universidad de Cornell mediante el Fresh Water Institute desarrolla su fundamento desde el punto de vista hidráulico y cultivan especies como el salmón y trucha, básicamente sus modelos hidráulicos se basan en criar este tipo de especies que requieren un nado rápido y soportar grandes recambios de agua.



FIG 4 FRESH WATER INSTITUTE- CORNELL

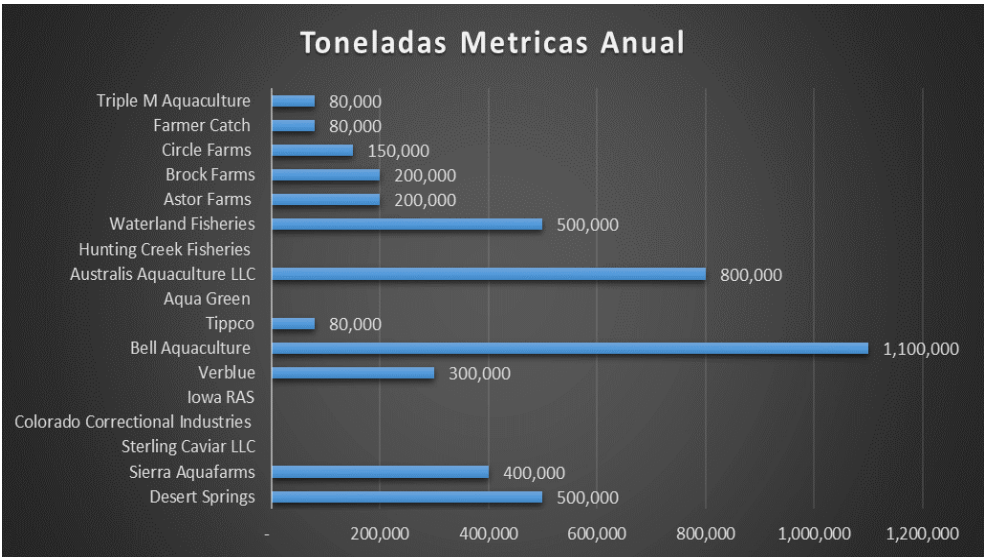


Fuente: INSTITUTE- CORNELL

Los centros de cultivo desarrollados por países nórdicos se basan en el mismo principio anteriormente mencionado (Cornell University) donde se hace énfasis en el aspecto hidráulico y los biofiltros de lechos movilizados.

A nivel mundial existen muchos casos exitosos de empresas que utilizan los sistemas de recirculación en acuicultura. En EEUU destacan las siguientes empresas que cultivan tilapia en sistemas de recirculación, a continuación, se detalla en el siguiente gráfico.

FIG 5 EMPRESAS DE EEUU CON PRODUCCIÓN ACUICOLA EN SISTEMAS DE RECIRCULACION



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Existe mucho desconocimiento con referencia a este tipo de tecnologías puesto que la información de primera mano es especializada. La inversión empresarial necesita una base técnica. La persona que diseña o construye debe tener muy claro cuáles son los procesos al momento de implementar las tecnologías de recirculación, es decir si conoce cuales son los equipos adecuados, si sabe cuál es la eficiencia de los equipos que recomienda. No existen híbridos (por híbrido me refiero a que no existe la combinación entre un sistema de recirculación acuícola con un sistema de biofloc).

### **Curso Especializado en Recirculación**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

El sistema de biofloc se basa en tener una carga alta de sólidos para la formación de flóculos bacterianos y esa carga no la puede soportar un sistema de recirculación. Debido a que el sistema de recirculación debe mantener un equilibrio entre las heterótrofas y autótrofas).

Un ejemplo cercano es Colombia que viene impulsando la adaptación de esta tecnología, con mucha fuerza desde hace aproximadamente 5 años, mediante el dictado de cursos presenciales y on-line de sistemas de recirculación.

La Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) Caribe realizó ensayos construyendo un sistema de Acuaponía para pobladores de la zona.



**FIG 6 MODULO DE ACUAPONIA AUNAP CARIBE.  
BARRANQUILLA-COLOMBIA**



Fuente: AUNAP CARIBE

El sistema consistió en 2 tanques de 2m<sup>3</sup>, dos sedimentadores compactos, un mineralizador, 1 desgasificador y finalmente la unidad de hidroponía por medio de una cama flotante.

**FIG 7 CULTIVO CEBOLLIN AUNAP CARIBE. BARRANQUILLA-  
COLOMBIA**



Fuente: AUNAP CARIBE

Cabe señalar que este sistema no contaba con una unidad de biofiltración, al manejarse densidades de hasta 30kg/m<sup>3</sup> ello era innecesario. La carga de amonio a transformar lo hacia la cama de vegetales.

Actualmente se viene trabajando en el diseño y construcción de uno de los sistemas más grandes de producción de tilapia en Colombia en la zona de Villavicencio con producciones de cerca de 5 toneladas de tilapia al mes, es el sistema de recirculación de tilapia más grande en Latinoamérica.

**FIG 8 SISTEMA DE RECIRCULACION. VILLAVICENCIO-COLOMBIA**



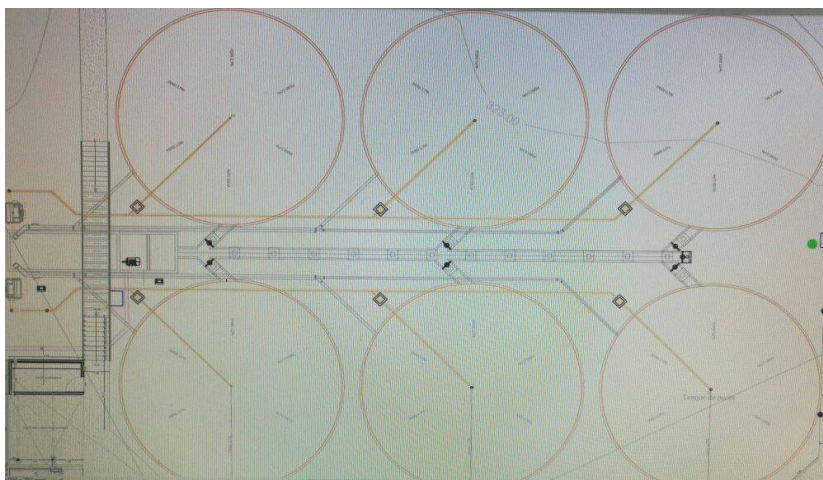
Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

El sistema consta de un total de 6 tanques de 12m de diámetro cada uno con una unidad de remoción de sólidos independientes y todos unidos a un solo biofiltro de medio dinámico y con equipos de aireación con capacidad de brindar hasta 8kg de O<sub>2</sub> x hr.

**FIG 10 SISTEMA DE RECIRCULACION. VILLAVICENCIO-COLOMBIA**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



### 1.1.3.- Tecnología de Recirculación Cerrada en el Perú

Líneas arriba comentábamos que la técnica de recirculación tiene tres décadas de desarrollo en el mundo y los profesionales que la llevan a cabo son especialistas de la materia; en Perú la realidad es distinta ya que profesionales de diversas carreras (Veterinarias, Ingeniera, etc), pretenden desarrollar dichas técnicas sin contar con la especialidad necesaria. Esta especialidad exige un compromiso permanente, las técnicas se modernizan constantemente y lo que fue un auge de modernidad hace unos años deviene en obsoleto.

Los cursos libres, diplomados y/o talleres son buenos para acercarnos a la temática, al mismo tiempo que consolida y actualiza los conocimientos del profesional, ello no quiere decir que por llevar uno o dos talleres se obtenga el conocimiento necesario para diseñar, ejecutar o enseñar dichas técnicas.

La ausencia de electrificación en muchas zonas de la selva es uno de los factores que limita el avance tecnológico, para ello existen alternativas viables que se están usando en muchos países, tales como, el uso de las energías renovables; paneles solares, molinos de viento, entre otros. Ya que la utilización de estos recursos permite implementar y optimizar sistemas de aireación u otros tipos de mecanismos para mejorar la calidad de agua en el cultivo y este finalmente se vea reflejado en un aumento en la productividad acuícola. Desde un punto de vista tecnológico la *recirculación en acuicultura* nos puede servir de gran ayuda puesto que al controlar todos los factores de calidad de agua se convierte en la herramienta perfecta para el buen manejo biológico reproductivo de la especie.

Son varias las acciones que se podrían realizar para que haya un aporte significativo de la ciencia y tecnología para el sector acuícola, primero priorizar el tema de cultivos acuícolas como eje primario del desarrollo de la región, manteniendo en condiciones óptimas los cultivos que se tienen en cada región , generando fondos de investigación aplicada, y que éstas también puedan ser obtenidas por empresas, incluyendo dentro del equipo de trabajo a profesionales preparados dentro del rubro y así obtener mayores beneficios para las empresas que fomenten investigación y desarrollo como parte fundamental del crecimiento de sus empresas.

**FIG 11 SISTEMA DE RECIRCULACION PACO MADRE DE DIOS**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Segundo crear un fondo que permita a los alumnos de la universidad intercambiar experiencia y conocimiento con universidades extranjeras donde la experiencia acuícola es mayor, de tal manera que el alumnado pueda recibir de manera directa, experiencias propias de países que vienen desarrollando la acuicultura de manera eficiente.

Convencidos en implementar tecnologías rentables para el acuicultor de menor escala en el 2015 se decidió aspirar al fondo PIMEN de Innóvate Perú para el diseño, construcción y manejo de un sistema de recirculación para el cultivo de paco.

### FIG 12 SISTEMA DE RECIRCULACION MADRE DE DIOS



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

El sistema consta de 3 tanques de 6.2m de diámetro, para la remoción de sólidos se utiliza un sedimentador de tipo radial con la capacidad de remoción de sólidos sedimentables de hasta en 15 minutos, luego sigue la unidad de mineralización con la capacidad de remover sólidos finos, la unidad de biofiltración que consiste en un biofiltro de medio dinámico con el uso de material filtrante kaldness siendo un total de 1m<sup>3</sup> de material filtrante y finalmente un tanque de compensación donde todas las aguas del sistema confluyen para luego ser dirigida a los tanques de cultivo por medio de una bomba de agua de funcionamiento de 24 horas x 7 días de la semana con un caballaje de 1.5HP, con referencia al sistema de aireación se utiliza un blower de 1.5HP de marca sweetwater, se utiliza mangueras micro porosas para airear dentro de los tanques de cultivo junto con discos difusores de 9" en la unidad de biofiltración. Para mayor detalle apreciar el siguiente enlace <https://youtu.be/Fnc3PwT0Ys8>.

El proyecto inicialmente se puso como meta inicial llegar a una densidad de 15kg/m<sup>3</sup>, pese que al sistema se diseñó para soportar una densidad de 35kg/m<sup>3</sup>.

**FIG 13 SISTEMA DE RECIRCULACION MADRE DE DIOS CLARIFICADOR**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Podemos adelantar que los resultados han sido los previstos incluso superando la densidad de cultivo propuesta en el proyecto enmarcado.

Es importante hacer mención que todo tipo de tecnología tiene que ir de la mano con un mercado objetivo en este caso en particular, es el de autoabastecimiento para un restaurante, por lo que el sistema se hace aún más rentable con un valor agregado.

En Trujillo el 2017 se inauguró un centro experimental acuícola de nutrición de la empresa VITAPRO- Nicovita, este centro cuenta con sistemas de recirculación de última generación. Este sistema tiene la capacidad que tiene descarga cero de agua lo que hace muy eficiente su manejo para zonas donde este recurso es escasa.

**FIG 14 SISTEMAS DE RECIRCULACION**



Fuente: Nicovita



#### 1.1.4.- El “PORQUE” Hacer Sistemas de Recirculación en el Perú

En el Perú existe un gran potencial para el desarrollo de la acuicultura y que este a su vez sea motor de desarrollo para el país. La producción de Concha de abanico se ha visto afectada últimamente por los recientes problemas de fenómenos naturales que ha afectado al país básicamente el “niño costero” lo que usualmente se realiza es que se abastece de reproductores de bancos naturales y sobre eso se abastecen para contar con la producción anual.

Esto nos hace pensar cuan vulnerables podemos ser al depender de la naturaleza y no de nuestro desarrollo tecnológico; por ejemplo, contar con un stock de reproductores de manera perenne en áreas controladas con sistemas óptimos de calidad de agua nos fortalecería frente a las eventualidades de la naturaleza.

Con referencia al cultivo de trucha, ocurre que tenemos una dependencia en abastecernos de ovas del extranjero lo que nos hace vulnerable a que pueda ingresar un agente patógeno y ocasione un desmedro en la producción de trucha.

Se debe considerar el establecer cohortes de reproductores en sistemas de recirculación donde se tenga todos los parámetros controlados y podamos abastecernos de manera continua de ovas y no depender de la importación de ella y que pueda ocasionarnos pérdidas enormes en la industria de cultivo de trucha.

En la selva tenemos varios casos de porque adoptar estas tecnologías de recirculación; un claro ejemplo son los peces ornamentales tales como arawana que pueden soportar altas densidades de cultivo y al captar oxígeno por fuera del agua los vuelve potencialmente especies promisorias en sistemas de recirculación.

Particular atención merece el caso de los restaurantes, ya que en ellos confluyen los dos conceptos principales del porque hacer sistemas de recirculación en Perú: auto sostenibilidad. Ya que es el propio empresario quien genera su materia prima (pescado)-formación de pymes. - incentivando la conformación de empresas de corte autogestionario y aplicando la tecnología de recirculación.

**FIG 15 HIDRAULICA SISTEMA DE RECIRCULACION DE PACO**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

En líneas generales la tendencia de la acuicultura es el aumento de la producción. Esto conlleva a que como parte natural del cultivo se produzcan cada vez más desechos sólidos y líquidos generados por la producción, por eso es importante y necesario el uso de estas tecnologías, puesto que al controlar todos los parámetros de calidad de agua podemos disponer de los desechos que en ella se genera, incluso aprovechando los residuos, como valor agregado el poder producir vegetales en sistemas de acuaponia, producir biol, entre otro producto generado.

Los sistemas de recirculación permiten organizar una producción sostenida y escalonada, adicionalmente son eco-amigables, permite llegar a muchas familias, el reto de los diseñadores y centros especializados es desarrollar sistemas de recirculación de bajos costos y el uso de energía alternativa, aunque al día de hoy pareciese algo inverosímil la meta es llegar a zonas donde no existe electrificación, siendo posible esto con el uso de paneles solares.

Una tendencia tecnológica es la integración de las plantas (cultivo secundario) en los SRA minimiza el recambio de agua, impactando de manera positiva en la reducción de costos de operación, principalmente en el recurso hídrico (lugares áridos) y calefacción (Rakocy et al., 2006). Como producto final de la nitrificación realizada por los filtros biológicos en los SRA se obtiene el nitrato. Este metabolito se considera la principal fuente de nitrógeno absorbido por las plantas (Wiesler, 1997; Rakocy et al., 2006), por lo que no tiene por qué ser desperdiciado, canalizándose hacia cultivos secundarios, los cuales pueden tener un valor económico y de manera indirecta benefician la producción primaria de peces al depurar el agua (Rakocy et al., 2006). Los cultivos vegetales o secundarios cuando son bien diseñados y dimensionados pueden llegar en ocasiones a sustituir el uso de los filtros biológicos (Rakocy et al., 2006).

A este tipo de cultivo combinado entre la agricultura y la recirculación acuícola se denomina “Acuaponia”. En países como EEUU se viene haciendo este tipo de cultivo a nivel industrial, a manera de hobbies construyendo módulos pequeños e incluso a nivel de colegios ya que la aplicación académica es muy enriquecida debido a que se aprende muy bien las ciencias y matemáticas

La tecnología de recirculación está más que probada; sin embargo, el introducirla al mercado nacional tiene un alto costo monetario, pero en el Perú se tiene un reto distinto el introducir tecnología a bajo costo, por ello se viene desarrollando el cultivo de paco en sistemas de recirculación en madre de Dios, de esta manera se rompen mitos donde siempre se decía que se cultivaba un pez por metro cuadrado de cuerpo de agua.

La innovación tecnológica acuícola debe de ir de manera conjunta con las instituciones educativas, centros de investigación y el empresariado.

## 1.2.- SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN EN ACUICULTURA (RAS)

### 1.2.1.- Definición de Sistema de Recirculación en Acuicultura (ras)

#### 1.2.1.1- Sistemas Abiertos

La principal característica de este tipo de sistemas de cultivo es que usa el agua y la retorna al medio. Estos sistemas dependen de la calidad del agua del medio natural, lo que conlleva a la exposición de depredadores o patógenos.

Desde el punto de vista productivo, tienen bajos costos de producción en comparación con los sistemas de recirculación.

#### 1.2.1.2- Sistemas Semi-Cerrados

Los métodos de producción dentro de los sistemas semi-cerrados incluyen estanques y canales. En los sistemas semi-cerrados de agua se toma de una fuente natural tal como la lluvia, manantiales, arroyos o ríos. A continuación, se hace fluir por gravedad el agua. En comparación con los sistemas abiertos los sistemas semi-cerrados tienen varias ventajas, tiene mucho más alto índice de producción, tanto como 1.000 veces la productividad de un sistema abierto.

**FIG 16 CULTIVO TRUCHA INGENIO-HUANCAYO-PERU**



Fuente: Ingenio - Huancayo

La cantidad de agua que se usa para producir trucha en los sistemas abiertos es de  $9\text{m}^3$  de agua por kg de organismo producido, mientras que en sistemas de recirculación puede ser de tan solo  $0.45\text{m}^3$  de agua  $\text{kg}^{-1}$  de organismo (Blancheton y Belaud 2009).



### 1.2.1.3- Sistemas de Recirculación Acuícola

Los sistemas de recirculación acuícola son un conjunto de procesos y componentes que se utilizan para el cultivo de organismos acuáticos, donde el agua es continuamente limpiada y re-utilizada (Libey, 1993). Los sistemas de recirculación o sistemas cerrados presentan como ventaja, el uso racional del agua ya que el volumen de recambio es menor a un 10% diario del volumen total del sistema.

**FIG 17 AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGIES  
FIT™**



Fuente: AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGIES

Este tipo de sistemas permite el monitoreo y control de los parámetros fisicoquímicos tales como: la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto, el dióxido de carbono, el potencial de hidrogeno (pH), la alcalinidad y los metabolitos como el nitrógeno amoniacal, los nitritos y los nitratos. El control de los parámetros fisicoquímicos permite la producción continua a lo largo del año (Timmons et al. 2002), además si se mantiene los parámetros fisicoquímicos adecuados los organismos cultivados pueden presentar mejores tasas de crecimiento y conversión alimentaría (Wheaton, 1977).

Los sistemas cerrados también permiten disminuir la transmisión horizontal de enfermedades, ya que cada tanque se mantiene como una unidad de cultivo independiente (Losordo et al., 1992a). A diferencia de otros tipos tradicionales de cultivo, los sistemas cerrados dependen para su éxito comercial de una alta productividad por unidad de volumen dedicado al crecimiento del organismo acuático.

Alta productividad en un sistema cerrado se traduce en altas densidades a fin de maximizar la producción de organismos. Desde el punto de vista de manejo, el incremento en la densidad va a tener como consecuencia la producción de diferentes metabolitos que deben, en forma acorde ser eliminados a fin de evitar altas mortalidades en las unidades de producción. Entre estos compuestos se encuentra urea, ácido úrico, aminoácidos excretados por el organismo, heces, comida y material en descomposición producido por organismos muertos.

Por ejemplo, mientras que un sistema de flujo abierto puede tener un uso de agua entre 100 y 400 m<sup>3</sup> por Kg.pescado-1, un sistema de recirculación comercial puede estar por debajo de 5m<sup>3</sup> por Kg.pescado-1 y un sistema experimental puede estar por debajo de 1m<sup>3</sup> por Kg.pescado-1.

#### 1.2.1.4- Tecnología de Biofloc

Es una derivación de los sistemas de recirculación de agua donde no se utilizan filtros mecánicos o filtros biológicos.

**FIG 18 BIOFLOC SYSTEM ISLAS VIRGENES EEUU**



Fuente: UNIVERSIDAD ISLAS VIRGENES EEUU

#### 1.2.1.5- ¿Qué es el floc bacteriano?

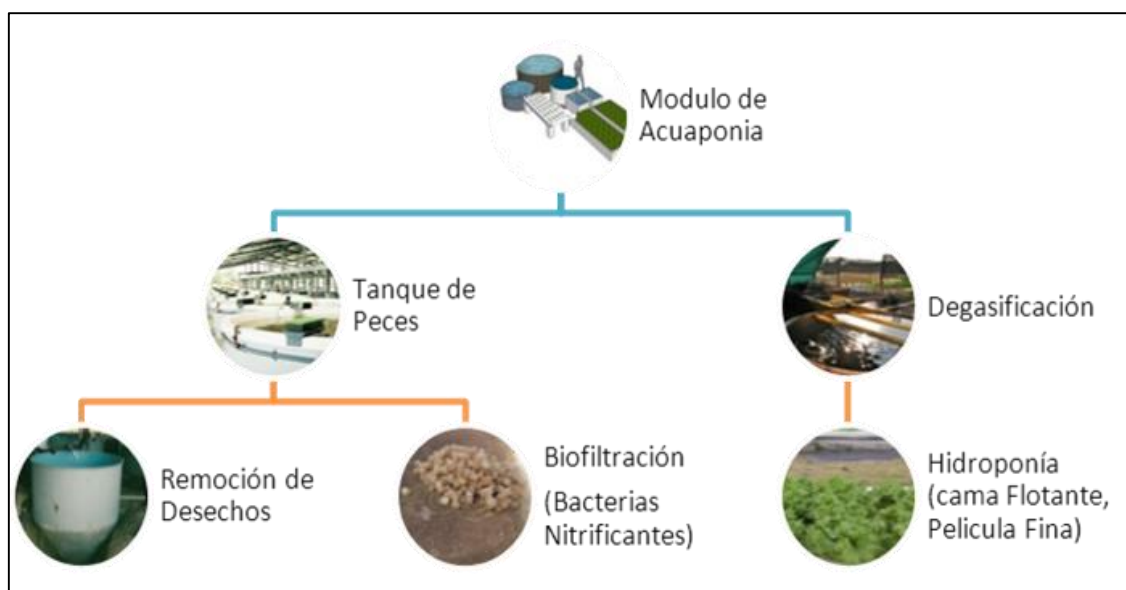
Es el conjunto de partículas orgánicas suspendidas en el agua o adheridas a las paredes de los tanques de producción. Engloban material orgánico particulado (materia fecal y partículas de alimento) sobre el cual se desarrollan microalgas, protozoarios, rotíferos, nematodos, ciliados, hongos, oligoquetos, entre otros microorganismos, en especial gran diversidad de bacterias (Kubitza, 2011).

#### 1.2.1.6- Sistemas de Acuaponía

Es un cultivo combinado (o co-cultivo) de organismos acuáticos y plantas en un mismo sistema de recirculación (o circuito cerrado).

En estos sistemas, el agua cargada con residuos orgánicos e inorgánicos (provenientes del cultivo de animales) pasa por una serie de procesos físicos y biológicos, que permiten transformar esos residuos en nutrientes necesarios para el crecimiento de plantas hidropónicas. La captación de nutrientes (o también llamada biofiltración) permite la purificación del agua, permitiendo así que ésta sea nuevamente utilizada en el cultivo animal durante años, lográndose un considerable ahorro del agua.

No obstante, existe una mínima pérdida del recurso hídrico, producto de la transpiración de las plantas y evaporación del agua, pero que sólo alcanza hasta un 10% anual. De esta manera, se ve reducido el consumo de agua, permitiendo su instalación en zonas áridas o sin vocación acuícola o agrícola. También puede instalarse en zonas donde hay cuerpos de agua que no pueden ser utilizados sea por temas de conservación o contaminación (Jiménez 2015).



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

#### 1.2.1.7- Diseños de Acuaponía

**Growbed System:** Cuyos componentes son Tanques de Peces y de una o más camas de plantas que utilizan como sustrato piedras, arcilla expandida, roca volcánica o perlita. Es empleado principalmente por aficionados gracias a su fácil construcción. No obstante, tiende a saturarse de sólidos en todo el sustrato y se necesita mucha mano de obra para su limpieza.

**Growing Power Model:** Fue desarrollado en Milwaukee E.E.U.U. y se basa en el uso de una cama como material de sustrato para las plantas con la diferencia que usan gusanos para la elaboración de Humus. Al igual que el modelo anterior, la cama de plantas tiende a acumularse de sólidos y esto requiere de mayor personal para su mantenimiento.

**Raft System o Cama Flotante:** Desarrollado en la Universidad de Islas Vírgenes E.E.U.U., es un modelo fácil de escalar a nivel comercial, se diferencia con claridad los componentes del sistema de Acuaponia y la función de cada uno de ellos. Se puede obtener mayor cantidad de peces y plantas.

**NFT System o Sistema de Película Fina:** Para este modelo se emplean tubos de PVC, es de fácil instalación, precios cómodos, pero el inconveniente mayor es que se tiende a acumular sólidos.



## 1.2.2.- Ventajas y Desventajas de un Sistema de Recirculación Acuícola

### 1.2.2.1- Ventajas de un Sistema de Recirculación Acuícola

#### Menor requerimiento de agua

En la acuicultura tradicional se utiliza aproximadamente entre 400 a 4000 litros de agua para producir 1 kg de Pescado, cerca de 5 kilogramos de desechos sólidos se produce por kilogramo de alimento ofrecido al cultivo convencional, cabe mencionar que en cultivos convencionales muchas veces se hacen recambios de agua de hasta un 100% de su volumen total. Esto nos pone a pensar cuan responsables realmente estamos siendo con el ambiente.

En los sistemas de recirculación solo se pierde un 10% de manera semanal que ocurre por reposición del agua por Evaporación. Si se implementa junto al sistema de recirculación un sistema como el hidropónico “Acuaponia” el desperdicio del agua de manera semanal se convierte a casi un 1% del total del volumen total. Lo que nos hace prever que el futuro próximo es la reutilización de esos desechos.

#### Disminuye en forma considerable la emisión de contaminantes.

En cultivos tradicionales de acuicultura la cantidad de desechos que se produce es elevada, muchos de estos desechos son arrojados a los cuerpos de agua y terminan contaminando nuestro ambiente, con los sistemas de recirculación no ocurre esto; puesto que cada unidad o proceso es el encargado de transformar los desechos que en los sistemas de recirculación se produce y puede ser aprovechado en cultivos paralelos tales como el de Acuaponia u obteniendo productos de valor agregado tales como fertilizantes sólidos y líquidos, caldos de bacterias que benefician los suelos agrícolas.

Por cada kilogramo de alimento ofrecido al día se produce aproximadamente 16 litros de concentrados de desechos de peces. En los sistemas de recirculación cubre cada proceso mediante sus operaciones unitarias, es decir cada proceso mencionado de remoción de sólidos, amonio, desgasificación permite que los residuos lo podamos manejar y dar la utilidad que corresponda como valor agregado.

#### Optimización en el uso de recursos, tales como agua, alimentos, energía, terrenos, personal, etc.

El agua es recirculada por periodos prolongados de tiempo. Para mantener la calidad de la misma, es necesario que dichos sistemas de producción cuenten con un eficiente tratamiento para disminuir la concentración de compuestos metabólicos producidos y el alimento no consumido (amonio no ionizado, nitritos, nitratos, fosfatos, DBO y patógenos). Ya que el recurso agua es escaso, a partir de la década de los cincuentas se empezó a desarrollar una tecnología tendiente a dar un uso más eficiente al agua y que no necesitará de grandes espacios para producir más biomasa por unidad de volumen (Losordo et al., 1999; Masser et al., 1999; Jones et al., 2001; Wang, 2003; Neori, et al., 2004).

Estos sistemas son los denominados sistemas de recirculación, caracterizados por que el agua es recirculada entre un 80 y 90 % durante un periodo largo de tiempo utilizando diferentes procesos para el tratamiento de agua, como lo son: filtración mecánica con arenas y rocas (eliminación de sólidos).

#### Garantiza la producción de juveniles libres de enfermedades

Los sistemas de Recirculación se pueden establecer como unidades independientes, es decir que cada unidad de cultivo puede tener su unidad de tratamiento, remoción de sólidos, remoción de amonio, desgasificación y aireación, al tener unidades de tratamiento independiente logra que estos sistemas sean excelentes para la producción de juveniles libres de enfermedades. En general si se desea contar con un stock de peces libre de enfermedades los sistemas de recirculación son la mejor opción para el desarrollo de este tipo de cultivos.

#### Disminuye en forma sostenible la necesidad de uso de fármacos y drogas para el tratamiento de patologías.

En los cultivos tradicionales en acuicultura los peces están expuesto a una serie de agentes patógenos que afectan a su piel y esto se hace aún más evidente cuando se quiere aumentar la densidad en los peces, puesto que la mala calidad de agua expone aún más el riesgo a poder contraer cualquier enfermedad, es por eso que por ejemplo en la industria del cultivo de salmón se utiliza grandes cantidades de fármacos entre otros para reducir o eliminar las enfermedades presentes en el cultivo; en los sistemas de recirculación el uso de fármacos es casi nula y no se tiende a utilizar, esto debido a que los sistemas de recirculación se tiene muy buena calidad de agua.

#### Mejor control sobre variables que influyen en el desarrollo, como son temperatura y fotoperiodo, mayor eficiencia en la ingesta de alimento.

En los sistemas de recirculación se controla todos los parámetros; por ejemplo: si nosotros deseamos manejar un stock de reproductores de trucha y queremos condicionar ciertas variables para que estos produzcan todo el año, esto es totalmente viable puesto que muy aparte de contar con una excelente calidad de agua en las variables de oxígeno, remoción de amonio y remoción de sólidos, tendremos las condiciones fisicoquímicas requeridas.

De igual forma al tener a los animales totalmente controlados en condiciones óptimas de calidad de agua el alimento que nosotros ofrezcamos va ser de mayor provecho para la especie que cultivemos a diferencia de los cultivos tradicionales, puesto que sembramos y desarrollamos los peces de manera homogénea.

#### Se puede construir sobre instalaciones ya construidas.

Una de las mayores ventajas en los sistemas de recirculación es aprovechar construir sobre instalaciones ya existentes es decir que los sistemas de recirculación son fáciles de adaptar y se puede construir e instalar.

#### Sirve para peces de agua dulce y salada, cangrejos, langostinos etc.

En los sistemas de recirculación se puede cultivar cualquier tipo de especie sea de agua salada o de agua dulce.

### 1.2.2.2- Desventajas de un Sistema de Recirculación Acuícola

#### Inversión inicial

Un punto crucial en todo emprendimiento es la inversión inicial. La inversión inicial es un tanto elevada básicamente por el tema de los costos de los equipos en el Perú que se ven encarecidos por los pagos de importación que aún sigue siendo elevados. Otro punto a considerar es que debemos ser muy cuidadosos al momento de elegir los equipos, los equipos para el montaje de los RAS tienen que ser muy eficientes, principalmente los países que desarrollan estos equipos son EEUU y China.

#### Complejidad

Un punto importante al momento de diseñar y construir los sistemas de recirculación es cuanta producción queremos tener de manera mensual o anual, a mayor densidad de peces más complejo tiene que ser el sistema en el sentido de cubrir los procesos y el manejo del mismo. Por eso es importante observar las credenciales de la persona que diseña este tipo de sistemas, su formación académica y los trabajos realizados. Los sistemas de recirculación pueden ser muy complejos tanto en el diseño, construcción y manejo.

#### Efectos crónicos sub-letales por exposición a amonio y dióxido de carbono

Los sistemas de recirculación son sistemas complejos donde actúan básicamente bacterias nitrificantes en la remoción de amonio, se puede ver expuestos a efectos crónicos por exposición de amonio cuando está mal dimensionado o calculado.

#### Filtración ineficiente

Se refiere a una filtración ineficiente cuando no hemos hecho el dimensionamiento adecuado, en el sentido de determinar cuánto amonio tengo que remover por día por alimento ofrecido, cuando desconozco en su totalidad el funcionamiento de los diferentes tipos de biofiltración, cuando previa a la biofiltración no tengo una buena remoción de sólidos o una buena circulación en los tanques de peces, cuando sobredimensiono el sistema o cuando no determino bien la cantidad de peces deseo producir o desechos que deseo eliminar.



### 1.2.3.- Diferencias entre Sistemas de Biofloc, Sistemas de Recirculación y Sistemas de Acuaponía

A continuación, se detalla un cuadro donde se aprecian las diferencias entre los sistemas de Biofloc, Acuaponia y Sistemas de Recirculación:

	Sistema de Recirculacion Acuicola	Acuaponia	Bioflocs
Uso de Bacterias Nitrificantes	SI	SI	No
Uso de Plantas como Biofiltracion	No	SI	No
Uso de Bacterias Heterotrofas	No	No	SI
Densidad de Cultivo	45kg/m <sup>3</sup>	40kg/m <sup>3</sup>	32kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de Recambio de Agua Diario	8.50%	1.50%	<1%
Consumo Energia kwh/kg Tilapia	5.5	3.2	7.5
Litros Concentrados/Kilogramo de Alimento	13	0	<4
FCR	1.6	1.6	1.2

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Uso de Bacterias nitrificantes: el uso de las bacterias nitrificantes está presente en los sistemas de recirculación y en Sistemas de Acuaponia. Su función principal es transformar el amonio en nitritos y luego a nitratos. Esto difiere de los sistemas de Biofloc en los que la interacción en la formación de flóculos bacterianos depende exclusivamente de las bacterias heterótrofas.

Uso de plantas o vegetales como biofiltración: es de uso exclusivo en sistemas de Acuaponia. La Acuaponia está compuesta por un sistema de recirculación más un componente de hidroponía. Es decir tiene los 5 procesos unitarios de los RAS (siglas en inglés); circulación, remoción de sólidos, remoción de amonio, desgasificación, aireación y un componente o proceso adicional que es la hidroponía. Cuando un sistema de Acuaponia está bien diseñado no se hace necesario el uso de sistemas de Biofiltración puesto que el componente vegetal cumple la función de biofiltración.

Uso de bacterias heterótrofas: la tecnología de biofloc tiene como proceso principal el uso de bacterias heterótrofas, este tipo de bacterias se encuentran en los desechos sólidos, por lo que en biofloc se forma flóculos y se mantiene en suspensión por medio de una agitación aérea para que finalmente sea aprovechado por los peces.

Densidad de Cultivo: como se aprecia en el cuadro líneas arriba la tecnología que soporta mayor densidad de peces es el sistema de recirculación acuícola, se tiene reportado que en sistemas de recirculación se han llevado cultivos superiores a los 120kg/m<sup>3</sup>, mientras que en tecnología de biofloc está reportado que como densidad de cultivo máximo se ha llegado a 32kg/m<sup>3</sup> en caso de tilapia, en Acuaponia se tiene reportado que la densidad de cultivo es de 40kg/m<sup>3</sup>. Es importante hacer mención que de manera no oficial se tiene reportes que en Acuaponia llega a densidades de 60kg/m<sup>3</sup>, producido por la Universidad de Islas Vírgenes en EEUU.

Porcentajes de Recambio de agua diario. En sistemas de recirculación acuícola se tiene reportado que como porcentaje de recambio diario puede llegar hasta un 10%.

En Acuaponia el porcentaje de recambio diario es de 1.5%. Mientras que en biofloc es menor al 1%.

Consumo de energía eléctrica: el mayor consumo de energía eléctrica es en sistemas de biofloc, esto se debe básicamente a que la aireación tiene que ser fuerte y constante para mantener los flóculos bacterianos en suspensión.

Litros concentrados de desechos: tanto en sistemas de recirculación como en Acuaponia los índices son similares, en biofloc es notoriamente menor puesto que en esta técnica se aprovecha los sólidos para generar los flóculos bacterianos junto con fuentes de carbono y sales.

Es importante mencionar que no existe híbrido con referencia a sistemas de recirculación acuícola con biofloc, en la tecnología de recirculación se mantiene un balance entre las bacterias heterótrofas y autótrofas, es regulado por los 5 procesos unitarios ya descritos, es distinto el proceso en sistemas de biofloc que el proceso es regulado por bacterias heterótrofas, si hubiera un crecimiento de bacterias heterótrofas este sería un indicativo que hay demasiada carga orgánica lo que causaría un desbalance en el sistema de recirculación. De igual forma no existen sistemas híbridos entre Acuaponia y Biofloc, puesto que una carga desmedida de sólidos en el sistema de Acuaponia causaría severos daños

### 1.2.4.- Componentes y su Funcionamiento en un Sistema de Recirculación Acuícola

Para el desarrollo exitoso de un SRA se debe considerar además de un manejo eficiente, el control de la calidad del agua, tomando en cuenta diversos parámetros fisicoquímicos tales como: la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), el oxígeno disuelto ( $\text{O}_2$ ), el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el pH, el nitrógeno amoniacal total (NAT), los nitritos ( $\text{NO}_2$ ), la alcalinidad del agua ( $\text{CaCO}_3$ ) y los sólidos suspendidos totales (SST).

Dichos parámetros deben ser controlados de forma continua tomando en cuenta las cinco operaciones unitarias características de un Sistema de Recirculación Acuícola; que son: La Circulación, la remoción de sólidos, la remoción de amonio, la desgasificación y la aireación u oxigenación; cada operación unitaria tiene un fundamento específico por lo que se detallará a continuación:

#### 1.2.4.1- Circulación

El uso de bombas de agua es determinante para este proceso puesto que el oxígeno que contiene el agua es impulsado a través de ella. Al escoger una bomba de agua tiene que ser de uso de 24 horas por 7 días a la semana, por lo que no se debe usar bombas comunes de agua o de funcionamiento de 8 horas.

Para considerar la circulación tomamos los siguientes aspectos en cuenta:

##### 1.2.4.1.1- Tanques de Peces

Al momento de diseñar nuestro sistema de recirculación, debemos considerar al dimensionar el sistema cuantos recambios de agua queremos que tenga nuestro tanque de cultivo y eso dependerá de la especie que cultivemos y para este propósito actualmente en el mercado existen muchas opciones al momento de escoger el tanque de cultivo entre ellas tenemos:

##### Tanque de Fibra de Vidrio

- Tiene buena durabilidad (20 años aproximadamente)
- Resulta muchas veces de precios elevados.
- Fácil de trasladar.

##### Tanques de Geomembrana

- Tiempo de vida de 10 años
- Resulta económicos

Problema de fugas de agua en caso estar mal sellados

##### Tanques de Cemento

- Tiempo de vida más de 20 años
- No tan económicos
- Difícil de trasladar (se tiene que destruir)

##### Tanques Australianos

- Tiempo de vida 20 años
- Económicos
- Fácil de trasladar.



#### 1.2.4.1.2- Bombas Centrífugas

Son las más utilizadas en sistemas de recirculación. Funcionan a partir del empuje que genera el agua en la cabeza y esta es hilada a alta velocidad. El diseño de la mayoría de las bombas centrífugas está optimizado para operación de moderada a alta presión.

En la mayoría de los casos, la bomba se colocará fuera del tanque, pero en algunos puede utilizarse una bomba sumergible. En casi todas de las aplicaciones RAS, una bomba centrífuga con alto caudal y baja capacidad de elevación minimiza el consumo de energía.

#### 1.2.4.1.3- Bombas de Flujo Axial

Se utilizan en sistemas de recirculación a mayor escala porque tienen mejor eficiencia de bombeo que las bombas centrífugas. Las bombas de flujo axial son accionadas por una hélice eje del motor dentro de un tubo vertical. La hélice de esta bomba tiende a estar sumergida para que el bombeo pueda ser iniciado sin cebado. Este tipo de bombas tiene un precio elevado. En estos sistemas más grandes, los menores costos de operación pueden compensar gasto de capital inicial.

#### 1.2.4.1.4- Bombeo por Aire

Opera fuera de la densidad entre la diferencia columna de agua y columna de aire. Impulsado por un ventilador externo consta de un segmento de tubo de PVC vertical con una inyección de aire. Son capaces de mover gran cantidad de volúmenes de agua.

El aire inyectado para mover el agua también airea y desgasifica el agua circulante, los sistemas de transporte aéreo se consideran altamente eficientes en comparación con la mayoría de los sistemas de bombeo. La altura del agua puede ser levantada por un puente aéreo.



Fuente: AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGIES

#### 1.2.4.2- Remoción de Sólidos

La descomposición de peces muertos, el alimento no digerido y la cantidad de desechos producen grandes cantidades de sólidos. Hay tres categorías de residuos sólidos; sólidos sedimentables, suspendidos y sólidos finos. A todos en general se les denomina SST. Es importante hacer mención que la remoción de sólidos se da desde las unidades de cultivo.

En la industria acuícola existen tecnologías para la remoción de sólidos que se han adoptado a partir de las técnicas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales. Recomendación “Asegurarse de tener una buena hidráulica en los tanques de cultivo”.

A continuación, se mencionan diferentes tecnologías para la remoción de sólidos en Sistemas de Recirculación Acuícola según la categoría del residuo a eliminar:

Sólidos Sedimentables: se basa en el principio de sedimentación y velocidades de decantación, los procesos unitarios en estas unidades incluyen; sedimentadores compactos, clarificadores, trampas de sólidos, y sedimentadores rústicos.

Sedimentadores Compactos:

- También se llama Sedimentador de tasa de te
- Se usa el principio de que las partículas son más densas que el agua
- Se usa fuerza centrífuga
- El agua entra en la periferia
- El agua sin sólidos se concentra en el centro
- Las partículas se sedimentan en el fondo

**FIG 19 SISTEMA RECIRCULACION ORNAMENTALES -ECOSCIENCE**



Fuente: ECOSCIENCE WORKSHOP

### Clarificadores Radiales:

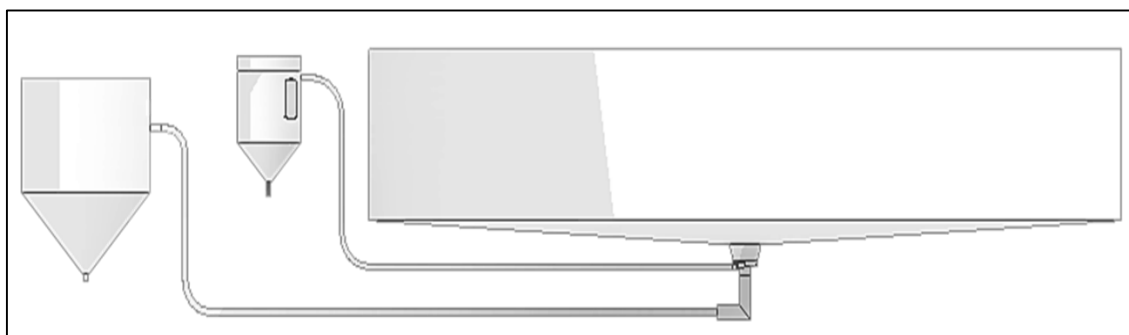
- Es la versión mejorada de los sedimentadores compactos
- Tienen hasta 3 puntos de sedimentación
- Remueve sólidos sedimentables en 15 minutos
- Tiene las mismas características del sedimentador compacto en versión mejorada
- Tiene una eficiencia de remoción de sólidos de hasta un 70%, lo cual es un indicativo alto en el mercado.
- Lo comercializa la empresa EcoScience Workshop

**FIG 20 CLARIFICADOR RADIAL**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Diseño de tanque para engorda de peces de 7m de diámetro con el uso de clarificador radial y uso de Ecotrap, en este caso en particular se determinó que el Ecotrap remueve hasta un 25% de sólidos sedimentables y el clarificador radial un 70% lo que nos hace una eficiencia de hasta un 95% de sólidos sedimentables, este proceso facilita el trabajo de la unidad de biofiltración, este proceso se explicará en la unidad de biofiltración.



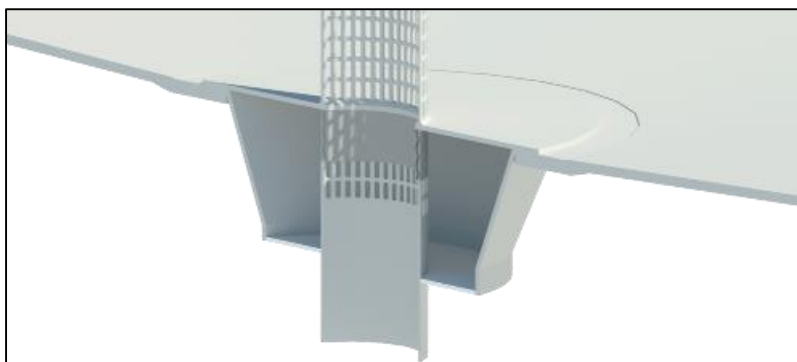
Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



Trampa de partículas sólidas “EcoTrap”:

- Tiene una eficiencia de remoción de sólidos sedimentables de hasta un 25%
- Funciona como un colector de sólidos
- Marca registrada “EcoTrap” comercializada por Pentair Aquatic Ecosystem

**FIG 21 ECO TRAP**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Sedimentadores Rústicos:

- Tiempo de retención recomendado es de 15 a 30 minutos
- Relación larga: ancho recomendada es de 4:1 a 8:1 y un mínimo de 1 metro de profundidad
- Por cada 1.0 litros por minuto de agua a través del sedimentador se requieren 0.025 m<sup>2</sup> de espacio
- Recomendación: carga hidráulica de 60 m<sup>3</sup>/(área del sedimentador)m<sup>2</sup>/día para 90% sedimentables
- No muy recomendados para sistemas de recirculación

**FIG 22 SEDIMENTADOR RUSTICO**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

## Ejercicio de dimensionamiento de un Sedimentador Rústico

DATOS REFERIDOS AL CULTIVO		REFERENCIA/COMENTARIO
Numero de Tanques	1 Tanque	
Diámetro Total del Tanque	12 m	
Velocidad de Sedimentación de Partícula	40 m/d	ODD-IVAR LEKANG 2007
Tiempo de Retención	1 hr	
Flujo	23 l/seg	1987.2 l/día

DATOS REFERIDOS AL DISEÑO DEL SEDIMENTADOR		ODD-IVAR LEKANG 2007
Calculo Area del Sedimentador	$(1,987\text{L/día} \times 1 (\text{tanque})) / 40\text{m/d}/1000$	$(Q \times N^{\circ}\text{TANQUES}) / \text{VELOCIDAD SEDIMENTACION PARTICULAS}$
Area del Sedimentador	49,675 m <sup>2</sup>	
Calculo de Volumen del Sedimentador	$1(\text{tanque}) \times 1,987\text{L/día} \times 1\text{hr}/24$	
Volumen del Sedimentador	82,800 Litros	83m <sup>3</sup>

DATOS REFERIDOS A LAS MEDIDAS DEL SEDIMENTADOR		
Largo	7 m	
Ancho	6 m	
Alto	2 m	

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

“**Número de tanques**” se refiere a la cantidad de tanques de cultivos que se cuenta en el cultivo o se quiere trabajar.

“**Diámetro Total**” se refiere al tamaño del diámetro del tanque redondo que se va a considerar cultivar.

“**Velocidad de sedimentación**” se refiere a la velocidad de sedimentación de la excreta del pez. El rango varía entre 40 a 80m/d se considera el rango de 40m/d por cuestiones ya realizadas en campo por lo que ese dato es realmente exacto.

“**Tiempo de retención**” se refiere al tiempo de retención hidráulica dentro del sedimentador, es decir cuánto tiempo el agua tiene que permanecer para que se haga un recambio total del volumen del agua.

“**Flujo o caudal**” se refiere al flujo o caudal total del sistema de recirculación que se obtiene por medio de balance de masas (se verá con mayor detalle en los siguientes capítulos)

**Sólidos Solubles:** La eliminación de estos sólidos se lleva a cabo mediante uno o más procesos de filtración por mallas. Para llevar este proceso unitario tenemos las siguientes opciones: Filtros de Pantalla, Mineralizador, Filtros de arena, Filtros de Gránulos Flotantes.

### Filtros de Pantalla:

Ventajas:

- Requieren muy poca labor de mantenimiento
- Compactos
- Poca pérdida de poder

Desventajas:

- Muy costosos
- Consumen energía

**FIG 23 FILTRO DE PANTALLA**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### Mineralizador:

Proceso de descomposición del nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral principalmente en amonio, un punto a considerar en el uso del mineralizador es el lavado del mismo puesto que a mayores veces que se lava la red de mineralización mayor será las veces que el amonio será transformado a nitrato.

### Filtro de Arena:

Ventajas:

- Precio Moderado
- No requiere mucho mantenimiento
- Eliminan partículas muy pequeñas (30-15 $\mu$ )

Desventajas:

- Frecuente Retrolavado
- Gran pérdida de poder
- Problema de Canalización

**FIG 24 FILTRO DE ARENA**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### Filtros de Gránulos Flotantes:

Los filtros de AST actúan tanto como filtro mecánico y biofiltro, eliminando así la necesidad de tener filtros mecánicos (como de tambor o arena) conjuntados a biofiltros (como MBBR o arena fluidizada). Quizás lo más interesante de estos filtros es la existencia de dos tipos de medio; ST para clarificación en sistemas de alta concentración de sólidos y EN para mayor nitrificación.

### PBF (Propeller Bead Filter):

Filtros PBF, los primeros desarrollados por ASTfilters, diseñados a mediados de los años 80 para solucionar los problemas asociados con filtros de arena. De hecho, fue este el producto innovador que popularizó los filtros de medio granulado flotante, de los cuales hoy en día existen decenas de versiones.



La línea PBF tolera altas cargas de sólidos en suspensión sin oponer gran resistencia al flujo, ni requerir grandes cantidades de agua para el retrolavado. Esto se consigue utilizando un medio granular flotante que se agita con hélices actuadas por un motor durante el retrolavado. La hélice erosiona los residuos sólidos capturados por el medio y estos se depositan en la columna de agua sobre la cual flota el medio. Al cabo de unos minutos se abre una válvula que permite la escapada del agua sucia tras lo cual se devuelve el filtro a su modo operacional.



Fuente: AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGIES

#### HPPG (Filtros Polygeyser de Alta Presión):

Los nuevos filtros PolyGeyser® de alto perfil (HPPG) son perfectos para sistemas de soporte de vida acuática intensivos.

**FIG 25 POLYGEYSER AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGIES**



Fuente: AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGIES

Capaz de manejar grandes volúmenes de agua bajo presión, estos filtros PolyGeyser®, permiten realizar retrolavados varias veces al día, manteniendo un biofilm óptimo y saludable. La nitrificación mejorada hace que esta unidad sea ideal para aplicaciones con altas necesidades de biofiltración.

La tecnología del filtro PolyGeyser® permite retrolavados de tipo neumática regularmente, sin intervención o controladores. Este filtro proporciona filtración mecánica y biológica con pérdida de agua extremadamente baja eliminando lodo concentrado. Este nuevo diseño combina la alta tolerancia de presión y los caudales alcanzados en el Filtro Propeller Bead® modelos con la conveniencia y eficiencia de un PolyGeyser®.

#### Sólidos Suspendidos:

En un proceso de flotación, las partículas se adhieren a las burbujas de aire y se separan del agua. El proceso de flotación comprende todos los mecanismos de transporte que ocurren en un proceso de filtración con excepción del tamizado.

#### Fraccionador de Espuma:

Se basa en burbujas de aire en la columna de agua que remueven materia orgánica conforme van ascendiendo hacia la superficie

- Orgánicos disueltos
- Proteínas

**FIG 26 FRACCIONADOR DE ESPUMA**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

#### 1.2.4.3- Remoción de Amonio

El nitrógeno es un nutriente esencial para todos los organismos vivos, encontrado en las proteínas, ácidos nucleicos, fosfatos de adenosina, nucleótidos de piridina y pigmentos.

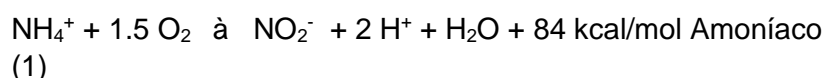
En el ambiente de la acuicultura, existen siete fuentes primarias de desechos nitrogenados: urea, ácido úrico y amino ácidos excretados por los peces, desechos orgánicos de organismos muertos o muriéndose, alimento no consumido y heces, y gas de nitrógeno desde la atmósfera. En particular, los peces a través de la difusión de sus branquias, el intercambio catiónico de las branquias, la orina y las heces expelen varios desechos nitrogenados.

La descomposición de estos compuestos nitrogenados es particularmente importante en sistemas intensivos de acuicultura de recirculación por la toxicidad del Amoníaco, el nitrito y hasta cierto punto, el nitrato. El proceso de remoción del amoníaco en un filtro biológico se llama nitrificación, y consiste en la oxidación sucesiva del amoníaco al nitrito y finalmente al nitrato. El proceso a la inversa se llama denitrificación y este es un proceso anaeróbico donde el nitrato es convertido en gas de nitrógeno. A pesar que no se emplea normalmente en las instalaciones comerciales de acuicultura hoy en día, el proceso de denitrificación se está volviendo más importante a medida que aumentan las densidades acumuladas y las tasas de recambio de agua son reducidas, resultando en niveles excesivos de nitrato para el sistema de cultivo.

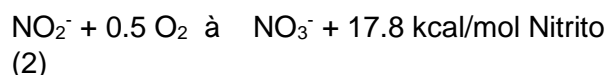
La nitrificación es un proceso de dos etapas, donde el amoníaco es oxidado a nitrito y luego el nitrito es oxidado a nitrato. Los dos pasos de la reacción son normalmente llevados a cabo secuencialmente. Ya que el primer paso tiene una reacción cinética más alta que el segundo paso, la totalidad de la cinética es normalmente controlada por la oxidación del amoníaco y como resultado no hay una cantidad apreciable de acumulación de nitrito.

Las ecuaciones 1, 2 y 3 demuestran las conversiones químicas básicas que ocurren durante la oxidación por Nitrosomonas y Nitrobacterias y la reacción de oxidación general.

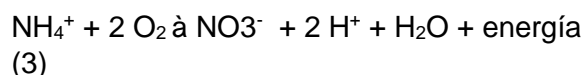
*Nitrosomonas:*



*Nitrobacteria:*



*General:*





Basado en las relaciones anteriores, 4.57 g de O<sub>2</sub> y aproximadamente 7.14 g de alcalinidad, como CaCO<sub>3</sub> son necesarias para completar la oxidación de un gramo de Amoníaco-nitrógeno.

#### Factores que afectan la nitrificación

- Factores Químicos
- Factores Físicos

#### Factores Químicos

- pH
- Alcalinidad
- Oxígeno disuelto
- NAT
- Salinidad
- Tasa de difusión de gases / Efecto por minerales

#### Factores Físicos

- Temperatura
- Re (Numero de Reynolds, Flujos turbulento y flujo laminar)
- Espacio intersticial
- Tamaño y tipo de medio
- Área de superficie específica
- Carga hidráulica (tasa de flujo)
- Altura
- Luz

Es importante hacer mención que si no tenemos una buena remoción de sólidos no vamos a tener una buena nitrificación o biofiltración, de igual forma es importante conocer el modelo de sistema de recirculación que queremos construir puesto que de eso dependerá que biofiltro o material filtrante vamos a manejar durante el cultivo.

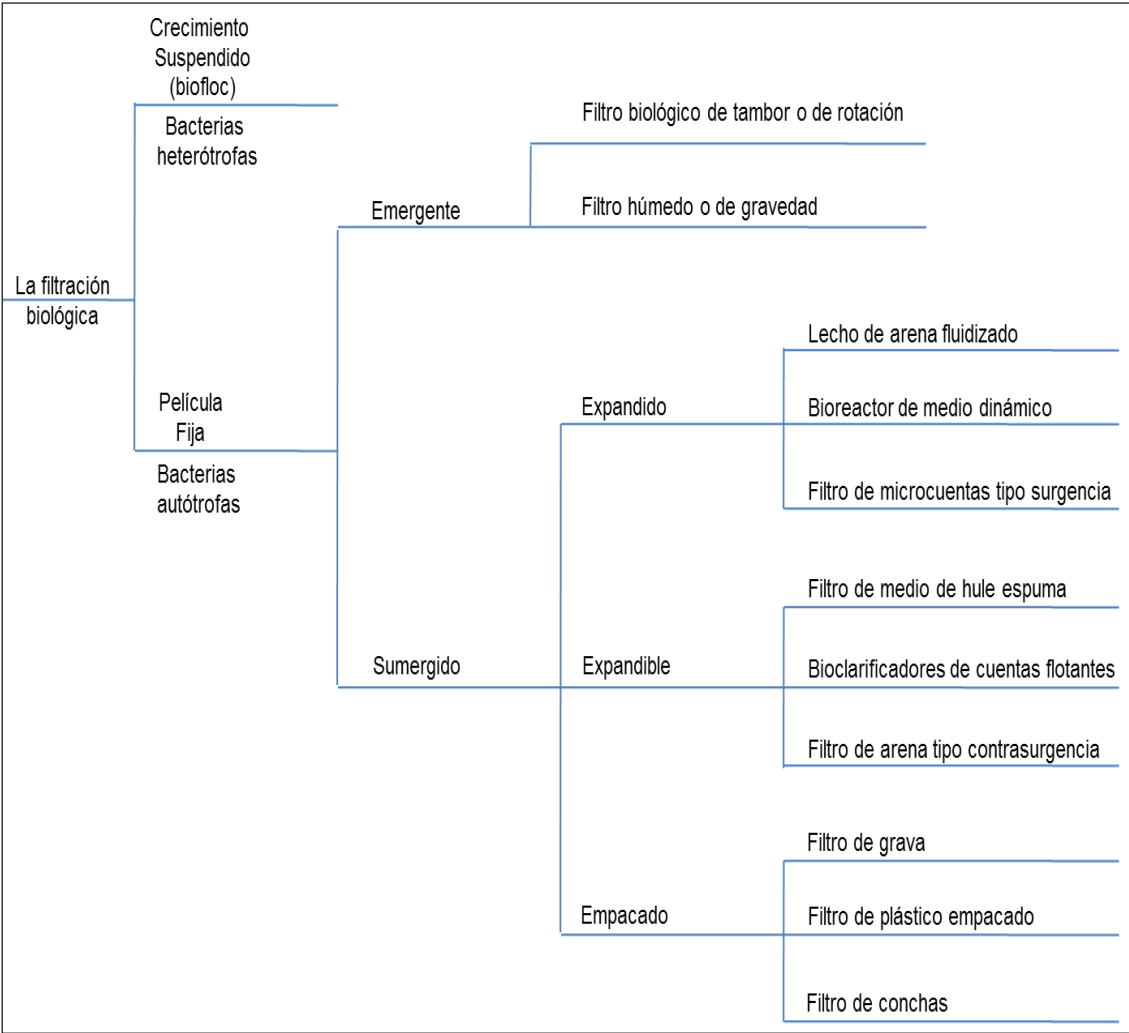
#### Que Característica debe tener el material filtrante del Biofiltro

- Gran área (superficie) por unidad de volumen (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)
- Permita contacto constante entre el agua y el medio
- Permita distribución homogénea del agua
- Evite pérdida de presión dinámica
- No se tape y/o obstruya
- Fácil de limpiar

Que debo considerar para la construcción de un biofiltro

- La tasa de flujo
- El área del biofiltro
- El volumen del biofiltro
- El tipo de medio
- La relación área/volumen del medio
- Capacidad de nitrificación del biofiltro (g NAT m-3 dia-1)
- Como controlar el grosor de la biopelícula
- Como manejar el grosor de la biopelícula (periodicidad, intensidad y duración)
- Como remover del biofiltro el agua con el producto del retrolavado (exceso de biopelícula y sólidos)
- Las entradas y salidas de agua
- El tipo de flujo (surgencia o contrasurgencia)

Clasificación diferentes tipos de Biofiltro



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### Biofiltro Sumergido:

#### Ventajas:

- Relativamente Barato y fácil de fabricar
- Poca pérdida de poder

#### Desventajas:

- Se crean Zonas anaeróbicas
- Difícil de limpiar
- Muy poco biofiltrado
- Requiere mucho espacio

### Contactor Biológico Rotatorio:

#### Ventajas:

- Poca pérdida de poder
- No requiere aireación extra

#### Desventajas:

- Costoso
- Mantenimiento muy laborioso

### Filtro húmedo:

- Medio en torre de tipo estático
  - Baja área de superficie específica
  - Baja tasa de conversión
- Difícil de manejo

### Filtros de Medio Granulado Flotante - AST

#### POLYGEYSER

Los filtros PolyGeyser, sin duda, son la mejor opción en cuanto a eficiencia y bajo mantenimiento. El retrolavado del medio es automático y la frecuencia la dicta y regula el consumidor. El no perder agua durante el retrolavado, permite a los usuarios lavar el medio tan a menudo como se requiera o desee. Los sólidos capturados se acumulan en una cámara interna de alta capacidad hasta que el usuario decide drenarlos.

La subcategoría “Endurance” ofrece Zero necesidad de mantenimiento, con la capacidad de drenar automáticamente el lodo acumulado durante el retrolavado. Para cada aplicación existe una frecuencia de retrolavado en la cual la captura de sólidos y biofiltración se optimizan, cumpliendo los requisitos del sistema. Dada la baja pérdida de presión a través de estos filtros (0.25 PSI) se pueden alimentar usando gravedad y bombeo por inyección de aire. Esto permite reducir gastos de recirculación hasta un 80%, a la vez que se oxigena el agua y se facilita la difusión de gases nocivos como el dióxido de carbono.

**FIG 27 POLYGEYSER AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGIES**



Fuente: AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGIES

*PBF (Propeller Bead Filter)*

Filtros PBF, los primeros desarrollados por ASTfilters, fueron diseñados a mediados de los años 80 para solucionar los problemas asociados con filtros de arena. De hecho, fue este el producto innovador que popularizó los filtros de medio granulado flotante, de los cuales hoy en día existen decenas de versiones. La línea PBF tolera altas cargas de sólidos en suspensión sin oponer gran resistencia al flujo, ni requerir grandes cantidades de agua para el retrolavado.

Esto se consigue utilizando un medio granular flotante que se agita con hélices actuadas por un motor durante el retrolavado. La hélice erosiona los residuos sólidos capturados por el medio y estos se depositan en la columna de agua sobre la cual flota el medio. Al cabo de unos minutos se abre una válvula que permite la escapada del agua sucia tras lo cual se devuelve el filtro a su modo operacional.

**FIG 28 PBF AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGIES**



Fuente: AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGIES



### BBF (Bubble Bead Filter)

La simplicidad del diseño de los filtros BBF hacen de ellos un producto asequible y efectivo. El retrolavado del medio se consigue con la simple rotación de una válvula. Al drenar el agua contenida dentro del filtro se crea un vacío reemplazado pasivamente por aire. El aire entra en el filtro, el medio flotante es agitado y de esta manera se desalojan los residuos sólidos capturados en el medio. Devolviendo la válvula a su posición original, el filtro, con el medio ya lavado, continúa filtrando el agua.

**FIG 29 BUBBLE BEAD AQUACULTURE SYSTEM**



Fuente: AQUACULTURE SYSTEM TECHNOLOGUES

### Biofiltros con Cuentas Dinámicas

- Se usa en operaciones comerciales
- Se ha usado principalmente agua frías
- Concepto de operación
- Adoptar mejores características de procesos de lodos activados
- Procesos en filtro biológico
- Biomasa crece en sustrato
- Medio dinámico
- Procesos aeróbicos
- Procesos anaeróbicos

### **BIOFILTRO CON CUENTAS DINAMICAS**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Biofiltros de Arena de Flujo Ascendente  
(Ciclo-Bio Filtro)

Ventajas:

- Buen índice de nitrificación
- Excelentes fuerzas de rompimiento
- Económico

Desventajas:

- Requiere de demasiado flujo y estable
- Una falla es catastrófica
- Gran pérdida de poder

**FIG 30 FRESH WATER INSTITUTE- UNIVERSIDAD DE CORNELL**



Fuente: FRESH WATER INSTITUTE DE CORNELL

#### 1.2.4.4- Desgasificación

El dióxido de carbono es un elemento importante en la calidad del agua. Hasta hace poco, la mayoría de los sistemas eran generalmente de baja densidad (menos de 40kg/m<sup>3</sup>) y se basaban en la aireación como el medio principal de suministro de oxígeno (Timmons et al 2002). Por ello, hay relativamente poca información sobre los efectos crónicos de CO<sub>2</sub> en Sistemas de Recirculación Acuícola.

#### 1.2.4.5- Aireación y/o Oxigenación

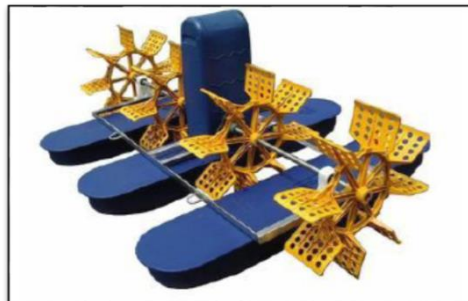
- La aireación o la adición de oxígeno proceso más común
- Incrementar la capacidad de carga
- Sobresaturación
- Diseño de equipo
- Cantidad de oxígeno que se necesita
- Concentración mínima de OD
- Concentración de otros gases como N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>
- Aireadores, diseñan para 90-95% saturación

A continuación, se describirán los diferentes equipos para el proceso unitario de aireación u oxigenación.

#### Aireador de Paletas

Ventajas:

- Provee buena eficiencia de aireación
- Desgasificación de dióxido de carbono
- No requiere instalaciones extras



Desventajas:

- Ocupa mucho espacio de agua
- Poca aireación en la parte inferior del estanque

#### Inyector/Aspirador

Ventajas:

- Económico
- No requiere instalaciones extras
- Provee muy buena circulación



Desventajas:

- Genera mucha turbulencia en el fondo
- Requiere mucho espacio de agua

#### Venturi

Ventajas:

- Económico
- No requiere instalaciones extras
- Provee muy buena circulación
- Moderada turbulencia

Desventajas:

- Mayor consumo eléctrico



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### Bomba Vertical

#### Ventajas:

- Económica
- Muy buena desgasificación de dióxido de carbono
- No requiere de instalaciones extras

#### Desventajas:

- Solo airea cerca de donde se encuentra
- Solo airea la parte superficial

### Blower regenerativo

#### Ventajas:

- No genera turbulencia
- Se localizan puntos de difusión donde se requiera
- Buena desgasificación de dióxido de carbono

#### Desventajas:

- Baja transferencia de oxígeno
- Requiere de instalación de tubería y difusores de aire
- No genera una dirección en circulación
- Requiere mantenimiento frecuente



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



Ejercicio: Determinación de la capacidad de carga de un cultivo.

Si un sistema de 10,000L que se alimenta con agua con un contenido de O <sub>2</sub> de 9mg/l a un caudal o flujo de 15,000L/Hr. Y siendo 5,0mg/l el nivel mínimo de concentración de O <sub>2</sub> requerido por la especie a cultivar, entonces la capacidad de carga será de:			
DATOS			REFERENCIA/COMENTARIO
VOLUMEN DE AGUA DE CULTIVO	10,000	Litros	
OXIGENO DE INGRESO	9.0	mg/l	
CAUDAL DE INGRESO	15,000	L/H	
OXIGENO DE SALIDA	5.0	mg/l	
$(Q_{\text{ingreso}} \times O_{2\text{ingreso}}) - (Q_{\text{ingreso}} \times O_{2\text{salida}})$			$(15,000\text{L/hr} \times 9\text{mgO}_2/\text{l}) - (15,000\text{L/hr} \times 5\text{mgO}_2/\text{l}) = 60,000\text{mgO}_2/\text{hr}$
			J. Colt, J.E. Huguenin 2002

\*Q = SE REFIERE AL FLUJO QUE PUEDE SER DE INGRESO O SALIDA SEGÚN SEA EL CASO

\*O<sub>2</sub>= SE REFIERE AL OXIGENO DISUELTO EN LA UNIDAD DE CULTIVO QUE PUEDE SER DE INGRESO O SALIDA SEGÚN SEA EL CASO

Por otro lado si la especie en cultivo, en el estado de desarrollo, estado fisiológico y condiciones ambientales en que se encuentra, tuviese una demanda específica de O2 de 150mg/kg/h la carga máxima que soportaría el sistema en términos de biomasa sería de :			
DATOS			REFERENCIA/COMENTARIO
DEMANDA ESPECIFICA DE O2 PEZ	150	mg/kg/hr	
Capacidad de Carga/ demanda específica Pez	(60,000O2/h)/ (150mgO2/kg Biomasa/hr) = 400kg de Biomasa		J. Colt, J.E. Huguenin 2002
	ENTONCES DIRIAMOS QUE EL SISTEMA SOPORTA 400KG DE BIOMASA Y LA DENSIDAD MÁXIMA SERÍA DE 40KG/M3		

\*150mgO<sub>2</sub>/kgBiomasa/hr . ES UN NUMERO ALEATORIO QUE SE UTILIZO CON FINES DE EJEMPLIFICAR

EL DATO DE DEMANDA ESPECÍFICA SE OBTIENE EN REVISTAS ESPECIALIZADAS O TRABAJOS CIENTÍFICOS PUBLICADOS

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

## 1.3.- BIOLOGÍA Y BALANCES DE NUTRIENTES

### 1.3.1.- Biología de Peces Amazónicos

La Amazonía peruana presenta varias ventajas comparativas para el desarrollo de la acuicultura. Son más de 200 especies que son utilizadas como fuente proteica y solo 50 son las que se venden en los mercados.

En este contexto podemos detallar 2 de las especies más cultivadas en la selva peruana que son la Gamitana (tambaqui, cachama negra) y Paco (cachama blanca), puesto que su cultivo es de los más difundidos en la región y en especial el cultivo de Paco forma parte de este instructivo.

La siguiente clasificación corresponde a Lauzanne y Loubens (1985):

- Superclase: Gnathostomata
- Clase: Teleostomi
- Orden: Characiformes
- Familia: Serrasalminidae
- Género: Colossoma
- Especie: *Colossoma macropomum*
- Género: Piaractus
- Especie: *Piaractus brachipomus*

#### TÉCNICAS DE CULTIVO:

Con ambas especies se han establecido cultivos extensivos, cultivos semi intensivos, utilizando alimentos con 20% de proteína y fertilización y cultivos intensivos en jaulas flotantes.

Países donde se cultiva: Brasil, Colombia, Cuba, Honduras, Panamá, Perú y Venezuela.

#### ZONAS DE CULTIVO EN EL PERÚ:

Loreto, Ucayali, Madre de Dios, San Martín, Huánuco, Junín, Amazonas.

#### PRODUCCIÓN Y ABASTECIMIENTO DE ALEVINOS:

EL Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana-IIAP, el Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura IVITA y el Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero FONDEPES abastecen usualmente con alevinos de ambas especies. También existen algunos productores privados.

#### NIVEL DE CULTIVO Y RESULTADOS ALCANZADOS:

Tanto la gamitana como el paco son de las especies que presenta mayor conversión alimenticia, por ser filtradores además de omnívoros; en forma extensiva se ha logrado 3TM/Ha/año, en forma semi intensiva 10 TM/Ha/año y en forma intensiva se obtiene entre 25 a 35 Kg/m<sup>3</sup>/año

### CALIDAD DE AGUA

- Temperatura optima: 27.5 grados Celsius (rango entre 26 a 30 grados Celsius)
- Oxígeno disuelto: >3.0 ppm.
- Resistentes a bajos niveles de O. D en el medio natural.
- El pH óptimo: 6.8 – 7.0
- Especies relativamente resistentes al nitrógeno amoniacal
- Dureza: > 30 ppm
- Dióxido de Carbono: < 20 ppm

Todas las características descritas hacen que ambas especies tanto gamitana como paco sean especies que puedan cultivarse a altas densidades en sistemas de recirculación.

No es la intención de este instructivo ahondar en el manejo común que se brinda en el cultivo extensivo. ***“Por ejemplo, es usual en los cultivos extensivos el alimento para cerdos u otros, que jamás deberían ser considerados en un sistema de recirculación”.***

En la unidad de manejo y planes de producción de las especies se detallará en tablas nutricionales, manejo de calidad de agua, entre otros detalles que permitirá al lector poder iniciar su cultivo en un sistema de recirculación de manera óptima.

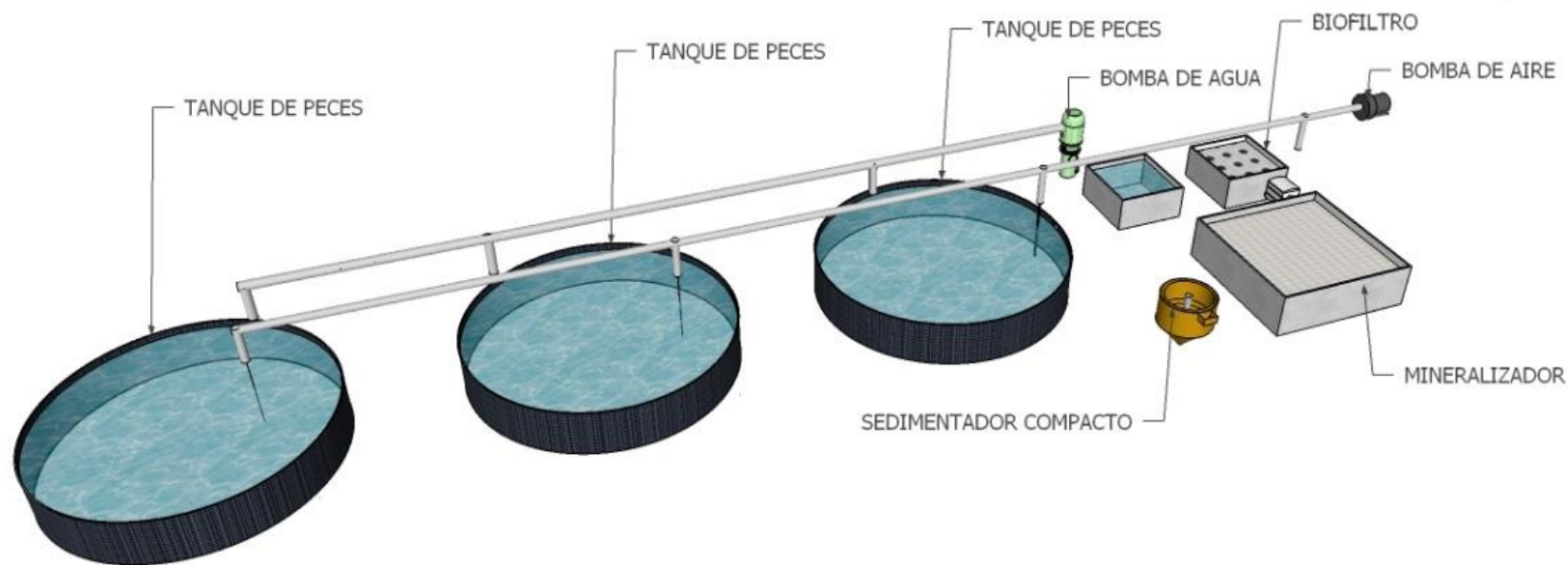


Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### 1.3.2.- Balance de Masas y Estimados de Flujos

Los sistemas de recirculación acuícola son un conjunto de procesos y componentes que se utilizan para el cultivo de organismos acuáticos, donde el agua es continuamente limpiada y re-utilizada (Libey, 1993).

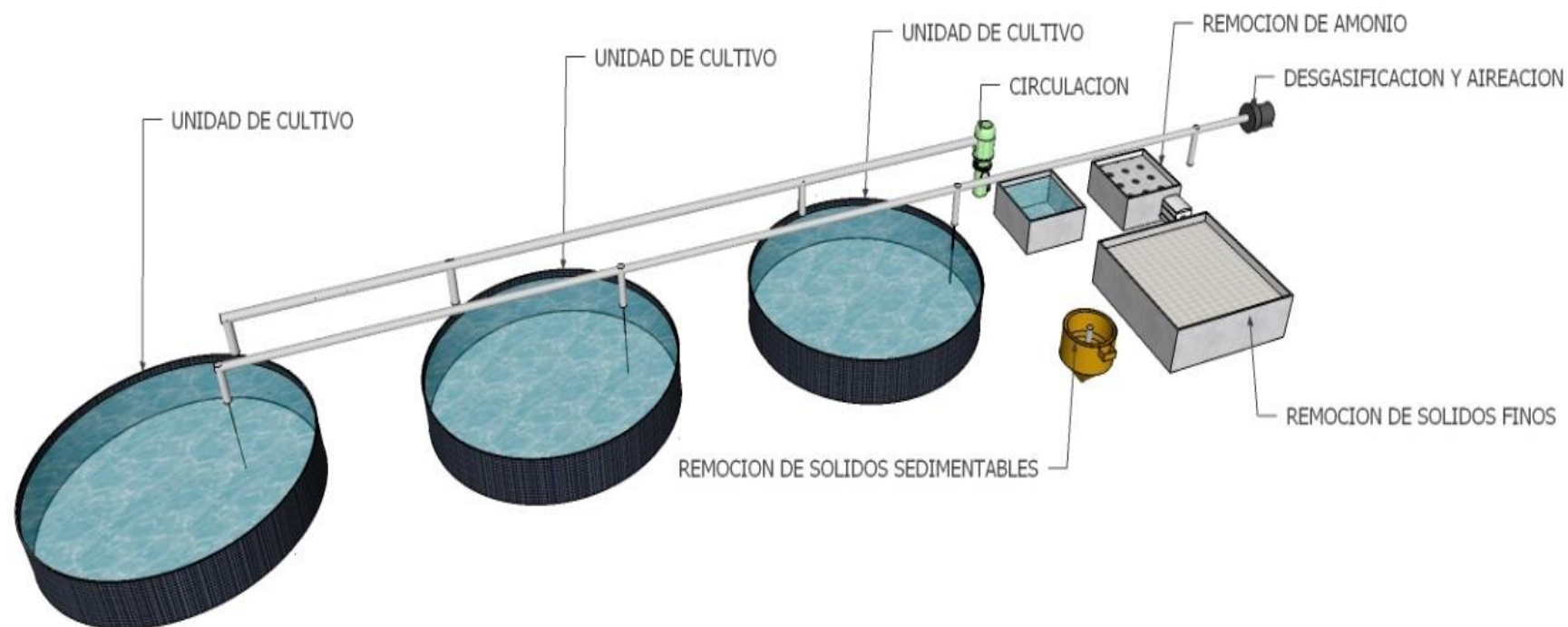
#### ESQUEMA SEGÚN EQUIPOS



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

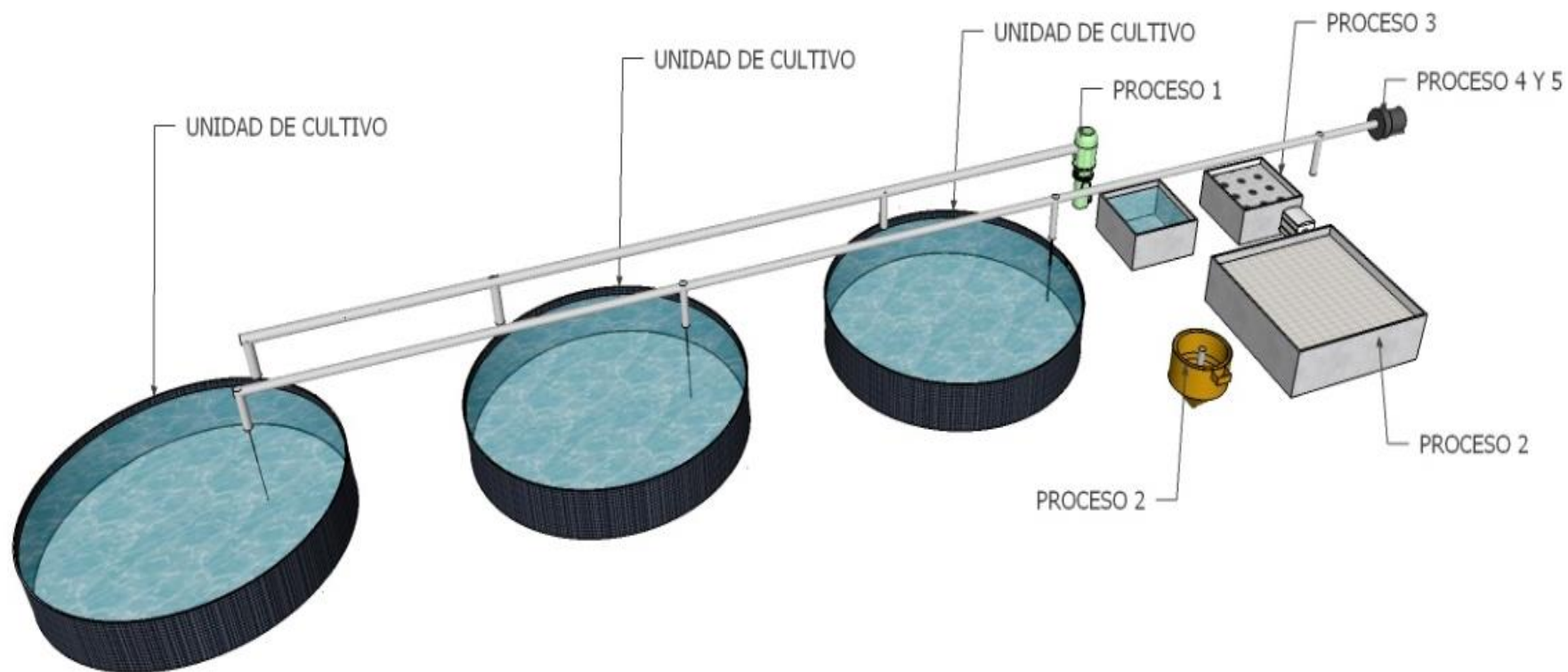


## ESQUEMA SEGÚN OPERACIONES UNITARIAS



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

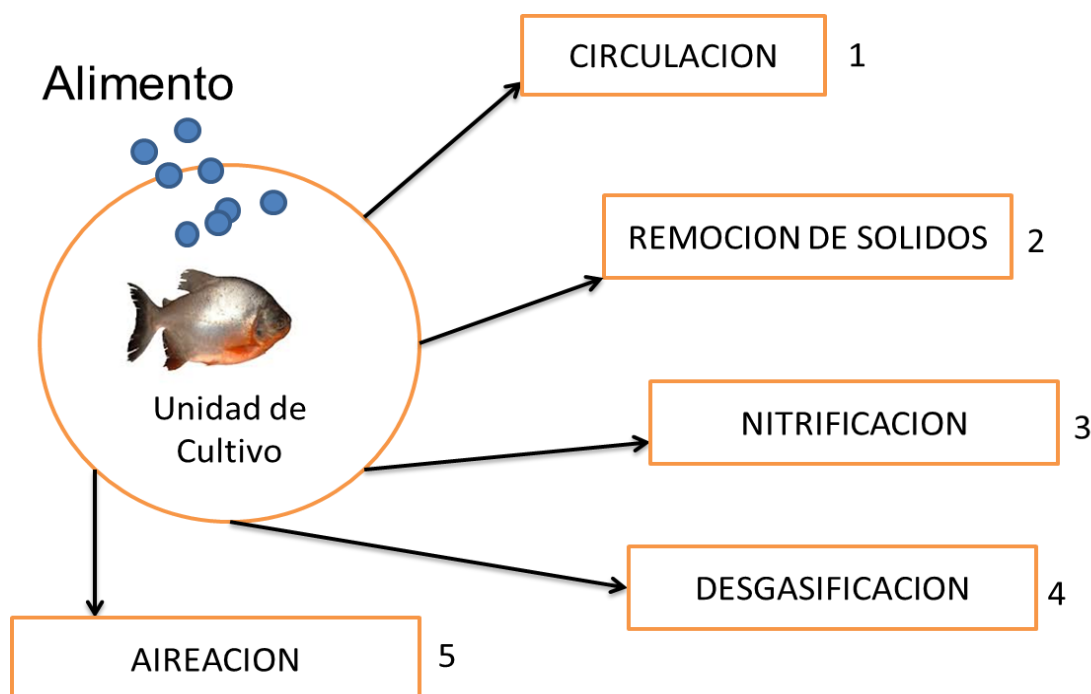
## ESQUEMA SEGÚN PROCESOS



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

A manera de síntesis podemos decir que la base de los sistemas de recirculación está dada por las operaciones unitarias (la circulación, la remoción de sólidos, la remoción de amonio, la desgasificación y la aireación u oxigenación). Nuestro siguiente paso será establecer las correctas cantidades de los elementos que se producen y consumen en la unidad de cultivo. Tanto el oxígeno que se consume como lo que se produce que son sólidos, amonio y dióxido de carbono. Con estos estimados de flujo a mano tenemos ya una idea clara de los equipos a escoger para cada proceso unitario (bombas, clarificadores, biofiltro, etc)

Como paso siguiente y no menos importante el manejo de nuestra unidad de cultivo deberá ser encargado a un profesional familiarizado con el tema de recirculación. Solo el correcto cumplimiento de estos pasos previos podrá asegurarnos el éxito en nuestro cultivo.



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

**Es decir, se determina la capacidad de carga del sistema de recirculación acuícola**

#### Capacidad de carga

Se especifica en términos de carga (biomasa de organismos/flujo de agua) en densidad (biomasa de organismos/volumen)

Producción de metabolitos es proporcional al alimento consumido

Capacidad de carga puede definirse en términos de cantidad de alimento suministrado (kg de alimento/día) o consumo de oxígeno (kg de oxígeno/volumen)

En el diseño de un sistema de recirculación es esencial predecir la capacidad de carga y producción:

- Paso necesario y crítico
- Mal cálculo
- Reducción de la tasa de crecimiento
- Aumento de la tasa de conversión de alimento
- Susceptibilidad a enfermedades
- Mortalidad

Ley de la conservación de la materia

### **“La materia ni se crea ni se destruye, solo se transforma”**

Es decir, lo que se transforma es el alimento que vamos a proveer a la unidad de cultivo puesto que el alimento se transforma a desecho y luego este por medio de los procesos unitarios son transformados a soluciones no tóxicas.

Análisis de balance de masa o materiales

- Límites del sistema deben de estar bien definidos
- Aislamiento e identificación de un flujo que cruzan los límites del sistema
- Identificar el material a ser balanceado
- Identificar los procesos de transformación que se llevan a cabo dentro del sistema

$$\text{Acumulación} = \text{entra} - \text{sale} + \text{genera} - \text{consume}$$

El balance de masas lo determinamos por medio del  $Q$ = Flujo o Caudal.

Flujo de agua

- $O_2$  transportado al tanque
- Desechos removidos del tanque

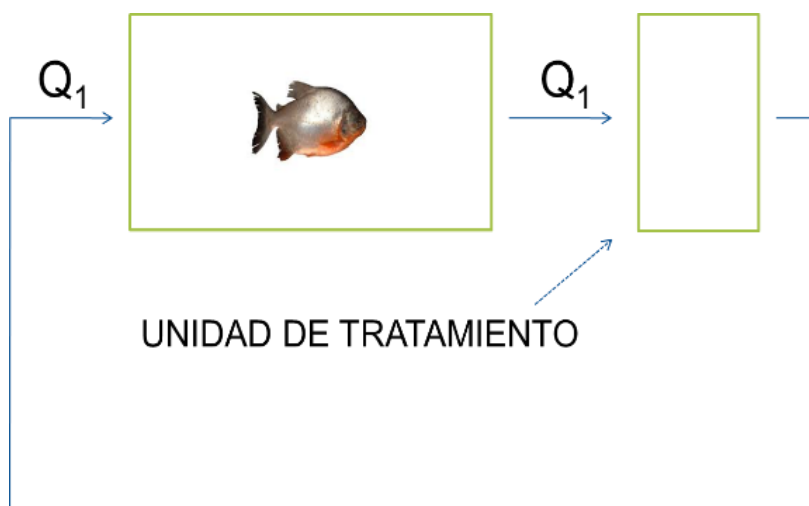
Diseño de sistema cerrado

- Parámetros ( $O_2$ ,  $NH_4$ ,  $NH_3$ -H,  $CO_2$ , SST,  $NO_2$ , alcalinidad)
- Calidad de agua
- Producción
- Flujo suficientemente alto



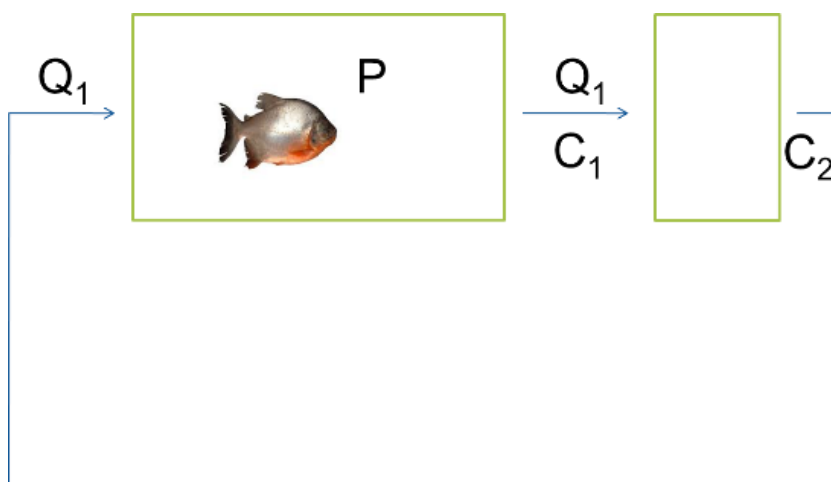
### Balance de masa

El gráfico que se presenta a continuación detalla claramente que el flujo es constante y este pasa a la unidad de tratamiento u operaciones unitarias sin que cambie, siempre conservándose como  $Q_1$ , vale decir puede ser la unidad de tratamiento para remoción de sólidos, remoción de amonio, desgasificación u aireación/oxigenación.



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

En este cuadro apreciamos que  $C_1$  (concentración 1) que se refiere a la concentración que ingresa a la unidad de tratamiento cambia a  $C_2$  (concentración 2). Por ejemplo, si ingresa con una concentración de sólidos de 2mg/l a la unidad de tratamiento de sólidos (llámese sedimentador rústico, sedimentador compacto o filtro tambor) debemos asumir que después de pasar por la unidad de tratamiento debe salir con 0 mg/l, no debemos llevar una carga de sólidos a nuestra siguiente operación unitaria, después es la remoción de amonio. Considerar que la remoción de sólidos se da desde la unidad de cultivo, es decir el tanque de peces.



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

## Operaciones Unitarias:

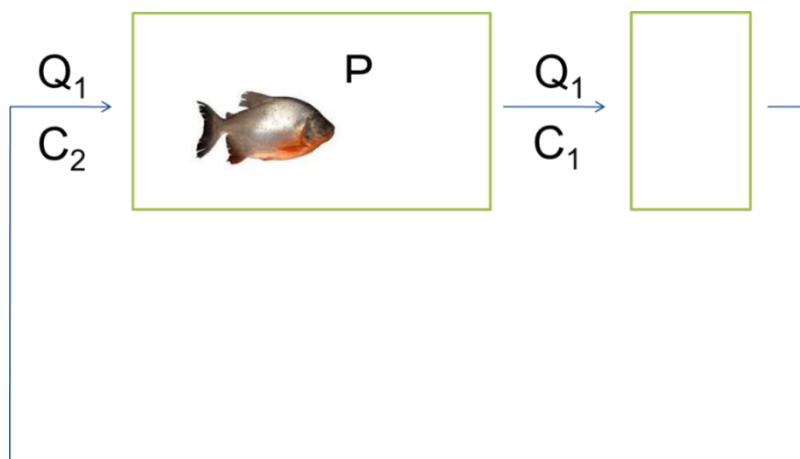
- Circulación
- Remoción de Sólidos (RS)
- Filtración Biológica (FB)
- Desgasificación / Remoción de Gases (RG)
- Aireación / Oxigenación (A) y/o (O)

Operación Unitaria	Antes de unidad de tratamiento	Después de unidad de tratamiento
RS	+	-
FB	+	-
RG	+	-
A y/o O	-	+

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

El cuadro explica muy claramente que ocurre con cada operación unitaria después de pasar por la unidad de tratamiento, es decir; en la operación unitaria de remoción de sólidos RS antes de ingresar con una concentración positiva de sólidos por la unidad de tratamiento esta se vuelve negativa porque se asume que sale sin concentración alguna de sólidos después de pasar por la unidad de tratamiento, en el caso de filtración biológica ocurre lo mismo ingresa a la unidad de tratamiento con una carga positiva y después de pasar por la unidad de tratamiento es decir el filtro biológico sale con una concentración negativa es decir sale con concentración 0 de amonio, para remoción de gases RG o desgasificación ocurre lo mismo ingresa a la unidad de tratamiento con una concentración que produce la carga de  $\text{CO}_2$  y después de pasar por la unidad de tratamiento sale con una concentración 0 es decir sin carga alguna de dióxido de carbono.

Para el caso de aireación y/o oxigenación es un caso distinto porque en la unidad de cultivo el pez consume oxígeno por lo que se convierte en una carga negativa después de pasar por la unidad de tratamiento se convierte en positivo puesto que hemos provisto la aireación requerida para que el cultivo siga en progreso.



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Por lo tanto, apreciamos el gráfico que siempre ingresa con un flujo  $Q_1$  constante puesto que asumimos es un sistema al 100% de recirculación, mientras que  $C_1$  si cambia a  $C_2$  puesto que en la unidad de tratamiento cambia su concentración en todos menos en la aireación siendo negativa, puesto que en la aireación hay una producción negativa dentro de la unidad de cultivo ya que el aire se consume por los peces.

Ecuación básica para elaborar el balance de masa de un sistema 100% recirculación

$$Q_1 C_2 + P = Q_1 C_1$$

$$Q_1 C_2 + P = Q_1 C_1$$

Lo que entra + lo que se produce = a lo que sale

$$Q_1 C_2 + P = Q_1 C_1$$

Y esta ecuación se despeja de dos formas en base a esta tabla



Operación Unitaria	Antes de unidad de tratamiento	Después de unidad de tratamiento
RS	+	-
FB	+	-
RG	+	-
A y/o O	-	+

Forma 1:

$$Q1 (C_2 - C_1) = -P$$

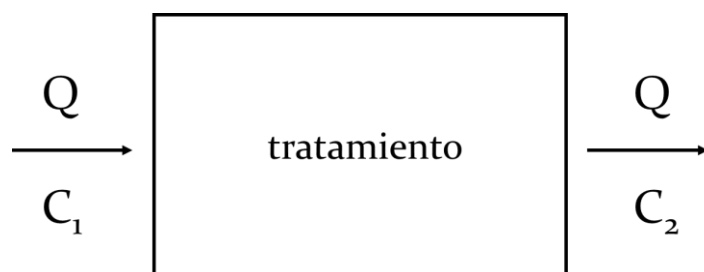
Esta ecuación se refiere específicamente al caso de aireación u oxigenación puesto que en la unidad de cultivo hay una producción negativa por lo que la aireación u oxigenación se consume.

Forma 2:

$$Q1 (C_1 - C_2) = P$$

Para calcular la tasa de flujo para el parámetro de sólidos suspendidos totales, nitrógeno amoniacal total y dióxido de carbono

El balance de masa debe de tomar en cuenta otro factor o tratamiento



$$C_2 = C_1 + \frac{T}{100} (C_{\text{óptimo}} - C_1)$$

Donde:

**C óptimo**= el mejor resultado obtenido con el tratamiento

**C óptimo** = para CO<sub>2</sub> el 0.5 mg/L para SST y amonio 0 mg/L

P= Producción

Producción de un contaminante (NAT, CO<sub>2</sub>, SST) o consumo de (O<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>)

Directamente relacionado a la F

**PO<sub>2</sub> (Producción de Oxígeno)** = - 0.25 kg por kg por alimento consumido

= - 0.12 kg por kg consumido por BN

= - 0.13 bacterias heterótrofas (hasta 0.5)

= - 0.5 kg (0.25+0.12+0.13)



**Producción de Dióxido de Carbono** =  $PCO_2 = 1.375$  gramos producidos por gramo de  $O_2$  consumido

**Producción de Nitrógeno Amoniacal Total** =  $PNAT = F \times PC \times 0.092$

**Producción de Sólidos** =  $Psólidos, SST$  (Sólidos Suspendidos Totales) =  $0.25kg \times kg$  de alimento seco

**20% – 40%**

### Oxígeno Disuelto

- Primer factor limitante
- Requiere flujo alto para mantener  $[O_2]$
- Regla 0.25 unidades de  $O_2$  por metabolismo depende de tipo de organismo
- Wester (1978) 200-250 g/kg
- Pecor (1978) 110 g/kg, pez poco activo
- $O_2$  pez + biofiltro

### Producción de amonio

$$P_{NAT} = \frac{F \times PC \times 0.092}{T}$$

Se basa en una serie de aproximaciones

$$0.092 = 0.16 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.9$$

- 16% (proteína es 16%)
- 80% nitrógeno es asimilado
- 80% nitrógeno asimilado es excretado
- 90% de nitrógeno excretado es NAT
- Todo NAT excretado en el tiempo T
- Sólidos se remueven rápidamente

### Dióxido de Carbono

Parámetro muy importante pero ignorado

$$Dorg < 40 \text{ kg m}^3 \text{ equivale } < 20 \text{ mg/L}$$

Alta densidad, otro tipo de control de  $CO_2$

**$PCO_2 = 1.375$  gramos producidos por cada gramo de  $O_2$  consumido  
(bacterias y peces)**

Niveles máximos 10-20 mg/L

Altas concentraciones crónicas = deposición calcárea en el hígado (nefrocalcinosis)

**SIEMPRE DISEÑAR SISTEMA  
PARA CAPACIDAD  
MÁXIMA DE CARGA:  
DENSIDAD MAXIMA Y  
MÁXIMA TASA DE ALIMENTACIÓN**

#### 1.3.2.1- Ejercicio de Balance de Masas

Deseamos cultivar pez Paco en el estadio de engorda a una densidad de  $30\text{kg/m}^3$ , en 3 tanques de 6.2m de diámetro y altura de 1.20m de altura total del tanque de cultivo. Para obtener una producción de 900 kilogramos de Paco por cada tanque de cultivo. Lo que nos daría una producción de 2700 kilogramos total en el sistema.

*Modelo de Sistema a desarrollar en el Ejercicio.*



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

#### DATOS

Altura sobre el nivel del mar = 469 msnm

- $T = 26^{\circ}\text{C}$
- $\text{SST} = 10 \text{ mg/L}$
- $\text{NAT} = 2 \text{ mg/L}$
- $\text{O}_2 = 5 \text{ mg/L}$
- $\text{CO}_2 = 20 \text{ mg/L}$
- Porcentaje de alimentación = 1.2%
- Biomasa = 2,700kg de organismos
- Cantidad de alimento = 32.40 kg de alimento balanceado

“Altura sobre nivel del mar”: se refiere a la altura sobre nivel del mar donde se desarrollará o construirá el sistema de recirculación.

“T°”: se refiere a la temperatura media promedio donde se realizará la construcción del sistema de recirculación.

“SST”: se refiere a la cantidad de sólidos suspendidos totales que soporta el animal en este caso paco, “OJO” nos referimos a la cantidad permisible mas no a la cantidad letal.

“NAT”: se refiere a la cantidad de nitrógeno amoniacal total que el animal soporta en cultivo, no se refiere a la cantidad letal.

“O<sub>2</sub>”: nos referimos a 5mg/l porque asumimos que 3mg/l consume de oxígeno los peces y 2mg/l consume las bacterias.

“CO<sub>2</sub>” se refiere a la cantidad de dióxido de carbono permisible para la especie en cultivo, mas no a su cantidad letal.

“Porcentaje de alimentación”: tomamos como dato 1.2% puesto que es el porcentaje de alimento que se da al último día de cultivo antes de cosechar.

“Biomasa”: se refiere a la cantidad de peces que voy a cultivar, ese dato lo obtuve multiplicando 30kg/m<sup>3</sup> densidad de cultivo final por la cantidad de volumen de agua de los 3 tanques en metros cúbicos, lo que me da como resultado 2,700 kg de organismos.

“Cantidad de alimento”: es la cantidad de alimento que se brinda al día final de cultivo, por lo que asumimos que es un total de 32.40 kilogramos de alimento que se brindará.

#### Eficiencias de tratamiento

- SST = 75%
- NAT = 35%
- O<sub>2</sub> = 65%
- CO<sub>2</sub> = 70%

SST=75% asumimos que la eficiencia del equipo o componente que voy a utilizar tiene un 75% esa eficiencia la determina la empresa o persona que vende el equipo, de igual forma esta eficiencia puede mejorar con el manejo que tenga la persona que está manejando el sistema de recirculación.

NAT=35% de igual forma asumimos que la eficiencia en este caso de la unidad de biofiltración es de 35%, el mejoramiento de esta eficiencia lo da el manejo.

O<sub>2</sub>=65% se refiere a la eficiencia que brinda el equipo de aireación llámese blower, splash o cualquier equipo que brinde la aireación correcta.

CO<sub>2</sub>=70% es la eficiencia de tratamiento que brinda el equipo para eliminar el dióxido de carbono del cultivo.

**“NO EXISTE NINGUN EQUIPO PARA EL MONTAJE EN SISTEMAS DE RECIRCULACION QUE TENGA EL 100% DE EFICIENCIA”**

#### DATOS REFERIDOS AL CULTIVO.

- Densidad de cultivo =  $30 \text{ kg/m}^3$
- Diámetro del tanque = 6.2 m
- Numero de Tanques = 3
- Volumen Efectivo del Tanque=  $30 \text{ m}^3$
- Volumen Total de los Tanques=  $90 \text{ m}^3$
- Altura de la columna de agua = 1 m (Considerar borde de 20cm)
- Porcentaje de proteína cruda del alimento= 20%
- Tipo de biofiltro = respiración exógena de medio dinámico (kaldnes, Moving Bed)
- Biofilm Reactor MBBR)

“Densidad de cultivo”; se refiere a la densidad de cultivo final que vamos a manejar en nuestro sistema de recirculación.

“Diámetro del tanque”; se refiere al diámetro total del tanque de cultivo, en nuestro caso un tanque redondo de 6.2m de diámetro.

“Número de tanques”; cantidad total de tanques que vamos a tener en todo nuestro cultivo.

“Volumen efectivo del tanque”; es el volumen útil del tanque en nuestro caso  $30 \text{ m}^3$ .

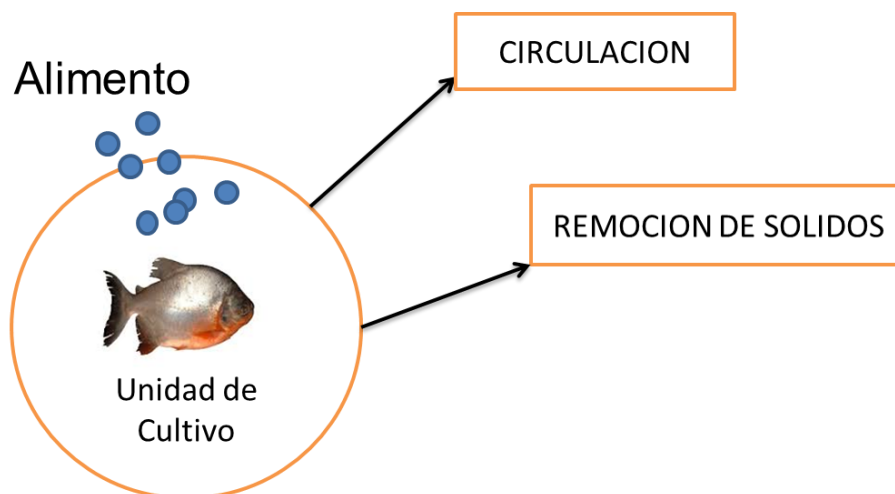
“Volumen total de los tanques”; es la cantidad de tanques multiplicados por el volumen total de agua del tanque de cultivo.

“Porcentaje de proteína cruda”; ese dato se refiere al porcentaje de proteína cruda de nuestro alimento balanceado.

“Tipo de Biofiltro”; nos referimos al tipo de biofiltro de respiración endógena asumiendo que la forma de transportar el oxígeno a la unidad de tratamiento de biofiltración es asumiendo el oxígeno que vamos a proveer dentro del cultivo.

### 1.3.2.2- Estimados de Flujos y Balance de Masas

#### 1.3.2.2.1- Estimados de Flujos y Balance de Masas para Remoción de Sólidos



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

- Tenemos que calcular y obtener  $C_2$  y  $P$
- Después despejamos la siguiente ecuación básica de un sistema 100% en recirculación

$$Q_1 (C_1 - C_2) = P$$

Vamos a obtener  $C_2$  para el SST

$$C_2 = C_1 + \frac{T}{100} (C_{\text{ópt}} - C_1)$$

$$C_2 = 10 + \frac{75}{100} (0 - 10)$$

$$C_2 = 2.5 \text{ mg SST/L}$$

Apreciamos que  $C_2$  que se refiere a la concentración después del tratamiento es de 2.5mg SST/L, donde  $T/100$  se refiere a la eficiencia del tratamiento vale decir que con una eficiencia del equipo a utilizar que nos dé un 75% de eficiencia tenemos una concentración de 2.5mg SST/l a diferencia de nuestra  $C_1$  que era de 10mg/l.  $C_{\text{ópt}}$  se refiere a nuestra concentración óptima para sólidos “Para solidos siempre asignar un valor de 0, puesto que no queremos en nuestro sistema se produzca sólidos”



Ahora vamos a obtener P para SST.

P se refiere a la producción de sólidos totales incluyendo sólidos sedimentables, solubles y suspendidos que vamos a tener de manera total en nuestro sistema como máximo.

P =

$$\frac{32.40 \text{ kg alimento}}{\text{día}} \times \frac{0.25 \text{ kg SST}}{\text{kg de alimento}} \times \frac{10^6 \text{ mg}}{\text{kg}} = \frac{8,100.000 \text{ mg de SST}}{\text{día}}$$

Haciendo las operaciones para determinar cuánto de desecho sólidos totales se produce en nuestro sistema determinamos que se produce 8,100.000 miligramos de SST lo que equivale a una producción de cerca de 8 kilos de producción de desechos sólidos en su máximo día de alimentación en el cultivo de paco.

0.25 kgSST/kg de alimento, es un factor que se utiliza siempre para determinar qué cantidad de desechos se produce por kilogramo de alimento que se ofrece diario.

Una vez que se determinó con qué concentración salió después de la unidad de tratamiento de sólidos (llámese clarificador, filtro tambor, etc.) se procede a determinar cuál es el flujo o caudal necesario para mantener de manera eficiente mi unidad de tratamiento.

$$Q = \frac{\frac{8,100.000 \text{ mg de SST}}{\text{día}}}{\frac{(10 - 2.5) \text{ mg de SST/L}}{\text{litro}}} = 1,080,000 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

$$Q = 1,080,000 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{\text{día}}{86,400 \text{ s}} = 12.5 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

$$Q_{\text{sólidos suspendidos totales}} = 12.5 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

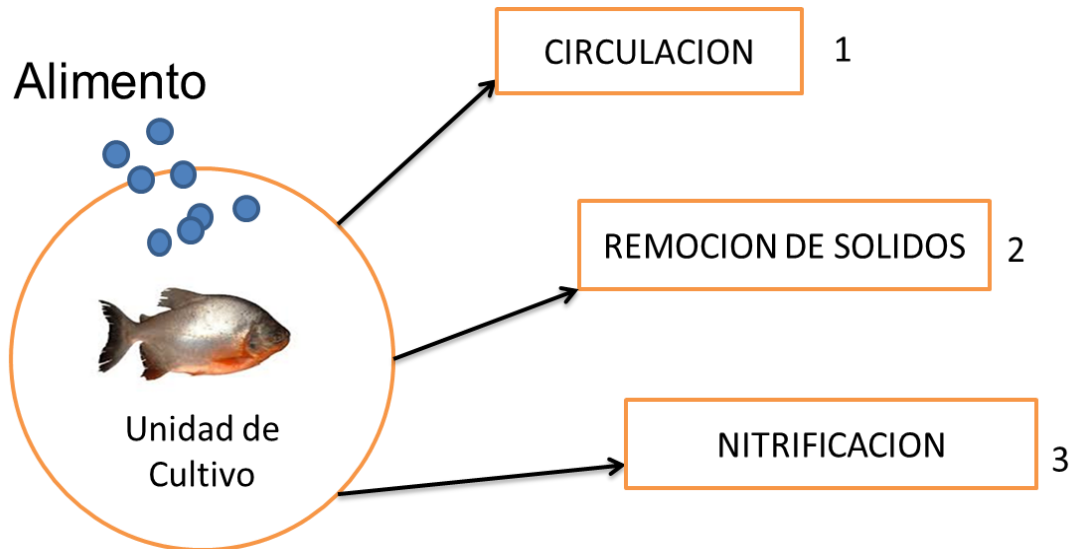
Resumen de estimados de flujos y balance de masas para Remoción de sólidos:

Finalmente, los estimados de flujos y balance de masas para la remoción de sólidos tenemos:

- Concentración inicial de Sólidos Suspendidos Totales= 10mg/l
- Concentración final después del tratamiento = 2.5mg/l
- Q Flujo requerido para la remoción de sólidos en el sistema= 12.5 litros/segundo

**Nota Importante:** es importante que la persona que diseña y/o construye el sistema de recirculación tenga en cuenta la eficiencia de tratamiento a utilizar en la unidad de remoción de sólidos, puesto que de ella depende la eficiencia de tratamiento que va a considerar al momento de dimensionar su sistema RAS, vale decir que si en la experiencia del usuario con su unidad de tratamiento de remoción de sólidos llego solo a un 50% de la eficiencia considerar ese dato como el inicial en la columna que dice tratamiento de sólidos y cambiar la información en vez de 75% colocar 50%.

#### 1.3.2.2.2- Estimados de Flujos y Balance de Masas para Nitrógeno Amoniacal Total



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

- Tenemos que calcular y obtener  $C_2$  y  $P$
- Después despejamos la siguiente ecuación básica de un sistema 100% en recirculación

$$Q_1 (C_1 - C_2) = P$$

Vamos a obtener  $C_2$  para el NAT (Nitrógeno Amoniacal Total)

$$C_2 = C_1 + \frac{T}{100} (C_{\text{ópt}} - C_1)$$

$$C_2 = 2 + \frac{35}{100} (0 - 2)$$

$$C_2 = 1.3 \text{ mg NAT/L}$$

Apreciamos que  $C_2$  que se refiere a la concentración después del tratamiento es de 1.3mg NAT/L, donde  $T/100$  se refiere a la eficiencia del tratamiento vale decir que con una eficiencia del equipo a utilizar que nos dé un 35% de eficiencia tenemos una concentración de 1.3mg NAT/l a diferencia de nuestra  $C_1$  que era de 2mg/l.  $C_{\text{ópt}}$  se refiere a nuestra concentración óptima para nitrógeno amoniacal total "Para nitrógeno amoniacal total siempre asignar un valor de 0".

Importante mencionar que la eficiencia en la unidad de biofiltración dependerá del material o diseño de biofiltro junto con el manejo u experiencia que tenga con referencia al biofiltro en uso. Considerar que la eficiencia en la remoción de sólidos es fundamental para el buen funcionamiento del biofiltro.

### Producción de amonio

$$P_{\text{NAT}} = \frac{F \times PC \times 0.092}{T}$$

Se basa en una serie de aproximaciones

$$0.092 = 0.30 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.9$$

- 30% (proteína es 30%)
- 80% nitrógeno es asimilado
- 80% nitrógeno asimilado es excretado
- 90% de nitrógeno excretado es NAT
- todo NAT excretado en el tiempo T
- sólidos se remueven rápidamente

Ahora vamos a obtener P para NAT.

P se refiere a la producción de Nitrógeno Amoniacal Total que vamos a tener de manera total en nuestro sistema como máximo.

$$P = \frac{32.4 \text{ kg alimento}}{\text{día}} \times \frac{0.20 \text{ kg Proteína}}{\text{kg de alimento}} \times \frac{0.092 \text{ Kg NAT}}{\text{Kg de Proteína}} \times \frac{10^6 \text{ mg}}{\text{kg}} = \frac{596,160.00 \text{ mg de NAT}}{\text{día}}$$

Haciendo las operaciones para determinar cuánto de Nitrógeno Amoniacal Total se produce en nuestro sistema determinamos que se produce 596,160.00 miligramos de NAT lo que equivale a una producción de cerca de 0.6 kilogramos de producción de nitrógeno amoniacal total en su máximo día de alimentación en el cultivo de paco.

0.20 kg de proteína/ kg de alimento se refiere a la cantidad de proteína que contiene el alimento que se ofrece de manera diaria en el último día antes de cosechar. Considerar que si dimensiona por ejemplo un sistema para alevinaje la cantidad de kg de proteína/kilogramo de alimento varía a la cantidad de proteína que su proveedor le hace referencia tiene el alimento.

0.092 es un número adimensional que se utiliza como factor.

Una vez que se determinó con que concentración salió después de la unidad de tratamiento de biofiltración se procede a determinar cuál es el flujo o caudal necesario para mantener de manera eficiente mi unidad de tratamiento.

$$Q = \frac{\frac{596,160.00 \text{ mg de NAT}}{\text{día}}}{\frac{(2 - 1.3) \text{ mg de NAT/L}}{\text{litro}}} = 851,567.00 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

$$Q = 1,573,200 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{\text{día}}{86,400 \text{ s}} = 9.86 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

$$Q \text{ nitrógeno Amoniacal Total} = 9.86 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

Resumen de estimados de flujos y balance de masas para Nitrógeno Amoniacal Total:

Finalmente, los estimados de flujos y balance de masas para la remoción de sólidos tenemos:

Concentración inicial de Sólidos Suspendidos Totales= 2mg/l

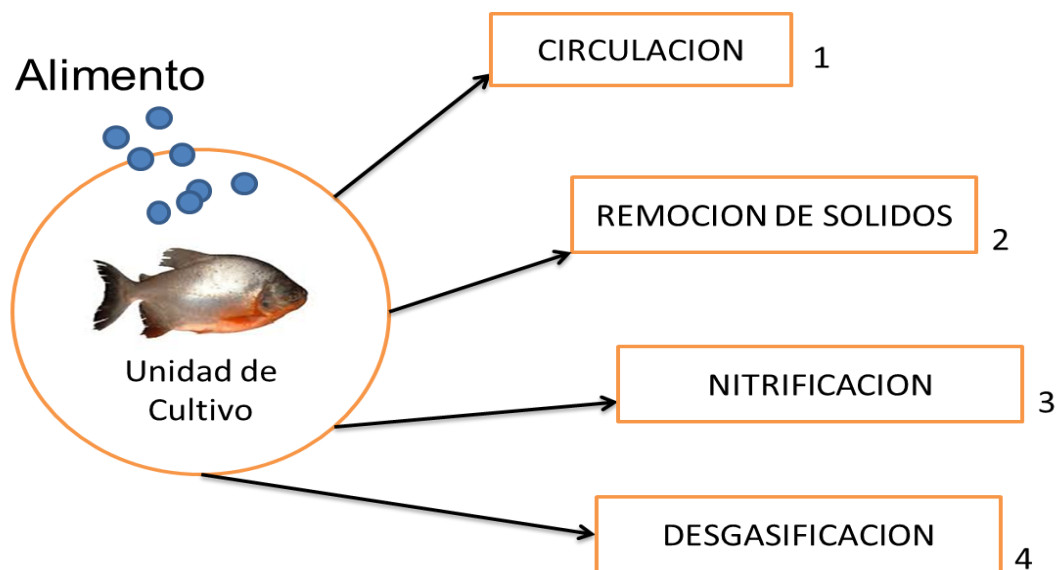
Concentración final después del tratamiento = 1.3mg/l

Q Flujo requerido para la remoción de nitrógeno amoniacal total = 9.86 litros/segundo

**Nota Importante:** es importante que la persona que diseña y/o construye el sistema de recirculación tenga en cuenta la eficiencia de tratamiento a utilizar en la unidad de remoción nitrógeno amoniacal total, puesto que de ella depende la eficiencia de tratamiento que va a considerar al momento de dimensionar su sistema RAS, vale decir que si en la experiencia del usuario con su unidad de tratamiento de remoción de nitrógeno amoniacal total llego solo a un 15% de la eficiencia considerar ese dato como el inicial en la columna que dice tratamiento de sólidos y cambiar la información en vez de 35% colocar 15%.



### 1.3.2.2.3- Estimados de Flujos y Balance de Masas para Remoción de Dióxido de Carbono



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

- Tenemos que calcular y obtener  $C_2$  y  $P$
- Después despejamos la siguiente ecuación básica de un sistema 100% en recirculación

$$Q_1 (C_1 - C_2) = P$$

Vamos a obtener  $C_2$  para el  $CO_2$  (Dióxido de Carbono)

$$C_2 = C_1 + \frac{T}{10} (C_{\text{ópt}} - C_1)$$

$$C_2 = 20 + \frac{70}{100} (0.5 - 20)$$

$$C_2 = 6.35 \text{ mg } CO_2/L$$

Apreciamos que  $C_2$  que se refiere a la concentración después del tratamiento es de 6.35mg  $\text{CO}_2/\text{L}$ , donde  $T/100$  se refiere a la eficiencia del tratamiento vale decir que con una eficiencia del equipo a utilizar que nos dé un 70% de eficiencia tenemos una concentración de 6.35mg  $\text{CO}_2/\text{l}$  a diferencia de nuestra  $C_1$  que era de 20mg/l. Cópse refiere a nuestra concentración óptima para sólidos en este caso es de 0.5.

Ahora vamos a obtener P para  $\text{CO}_2$  (Dióxido de Carbono)

P se refiere a la producción de Dióxido de Carbono que vamos a tener de manera total en nuestro sistema como máximo.

$$P = \frac{0.50 \text{ kg O}_2 \text{ Consumido}}{\text{Kg de Alimento}} \times \frac{1.375 \text{ kg CO}_2 \text{ producido}}{\text{kg O}_2 \text{ consumido}} = \frac{0.6875 \text{ kg de CO}_2 \text{ producido}}{\text{kg de alimento}}$$

$$P = \frac{32.40 \text{ kg alimento}}{\text{día}} \times \frac{0.6875 \text{ kg de CO}_2}{\text{kg de alimento}} \times \frac{106 \text{ mg}}{\text{kg}} = \frac{22,275.000 \text{ mg de CO}_2}{\text{día}}$$

Se produce un total de 22,275.000 miligramos de  $\text{CO}_2$  lo que equivale a 22 kilogramos de dióxido de carbono el último día antes de cosechar en nuestro sistema de engorda para Paco

*“0.50 kg  $\text{O}_2$  Consumido”* se refiere a la cantidad de oxígeno que consume tanto peces como bacterias, si se trabaja con una especie nueva se recomienda buscar esta información en artículos científicos de revistas especializadas. Este valor se asigna puesto que es un valor que comúnmente se da para sistemas de recirculación comerciales.

*“1.375 kg  $\text{CO}_2$  producido”* este valor es una constante puesto que ya se ha determinado que por cada kilogramo de oxígeno que consume el pez.

Una vez que se determinó con que concentración salió después de la unidad de tratamiento de desgasificación se procede a determinar cuál es el flujo o caudal necesario para mantener de manera eficiente mi unidad de tratamiento.

Una vez que se determinó con que concentración salió después de la unidad de tratamiento de desgasificación se procede a determinar cuál es el flujo o caudal necesario para mantener de manera eficiente mi unidad de tratamiento.

$$Q = \frac{\frac{22,275.000 \text{ mg de CO}_2}{\text{día}}}{\frac{(20 - 6.35) \text{ mg de CO}_2/\text{L}}{\text{litro}}} = 1,631,868 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

$$Q = 1,631,868 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{\text{día}}{86,400 \text{ s}} = 18.89 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

$$Q_{\text{Dióxido de Carbono}} = 18.89 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

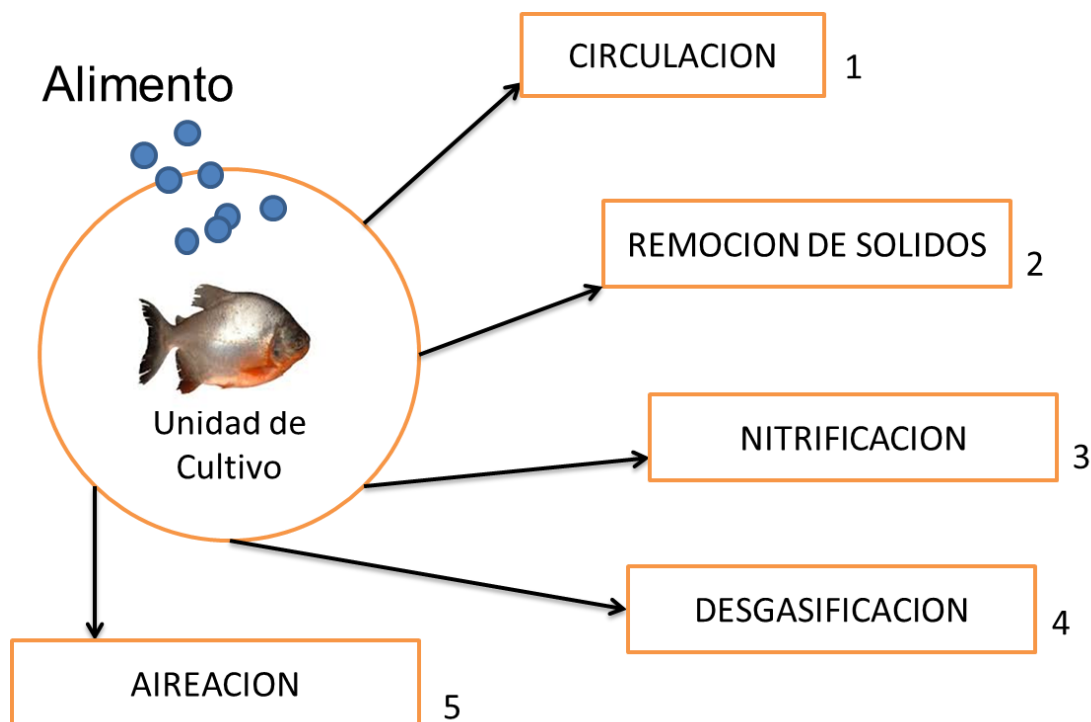
Resumen de estimados de flujos y balance de masas para Dióxido de Carbono:

Finalmente, los estimados de flujos y balance de masas para la remoción de Dióxido de Carbono tenemos:

- Concentración inicial de Dióxido de Carbono= 20mg/l
- Concentración final después del tratamiento = 6.35mg/l
- Q Flujo requerido para la remoción de dióxido de carbono = 18.89 litros/segundo

**Nota Importante:** es importante que la persona que diseña y/o construye el sistema de recirculación tenga en cuenta la eficiencia de tratamiento a utilizar en la unidad de Dióxido de carbono, puesto que de ella depende la eficiencia de tratamiento que va a considerar al momento de dimensionar su sistema RAS, vale decir que si en la experiencia del usuario con su unidad de tratamiento de remoción de dióxido de carbono llego solo a un 15% de la eficiencia considerar ese dato como el inicial en la columna que dice tratamiento de dióxido de carbono y cambiar la información en vez de 70% colocar 15%.

#### 1.3.2.2.4- Estimados de Flujos y Balance de Masas para Aireación



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

- Despejamos la siguiente ecuación básica de un sistema 100% en recirculación

$$Q_1 (C_1 - C_2) = -P$$

- Primer paso, calcular presión barométrica
- Segundo paso, calcular presión de vapor de agua
- Tercer paso, calcular el coeficiente de bunsen con los datos de las tablas
- Calcular  $C_s = C_{\text{óptimo}}$

#### Presión barométrica

$$P_{BP}^a = 10$$

Donde  $a = 2.880814$

$h =$  altura sobre el nivel del mar

$$P_{BP}^a = 10$$

Donde  $a = 2.880814$

$$P_{BP}^{2.8808} = 10$$

$$P_{BP} = 719.55 \text{ mm Hg}$$

$$- \frac{469}{19,748.2}$$

Altura Metros sobre nivel del mar donde se va a realizar la construcción del sistema de recirculación.

### **Presión de vapor de agua**

$$P_{ww} = A_0 e^{0.0645 (26)}$$

$$P_{ww} = A_0 e^{1.806}$$

$$P_{ww} = A_0 \times 6.0860$$

$$P_{ww} = 4.7603 \times 6.0860$$

$$P_{ww} = 25.46 \text{ mm Hg}$$

Se refiere a la temperatura media anual donde se va a construir el sistema de recirculación acuícola.

### **Calcular el coeficiente de Bunsen para el oxígeno**

Donde T en  $^{\circ}\text{K} = 273.15 + 26 = 299.15$

$$\beta_i = \exp [A1 + A2 (100/T) + A3 \ln (T/100)]$$

$$\beta_i = \exp [-58.3877 + 85.8079 (100/299.15) + 23.8439 \ln (299.15/100)]$$

$$\beta_i = \exp [-58.3877 + 28.4934 + 26.2864]$$

$$\beta_i = \exp [-3.6079]$$

$$\beta_i = 0.0271 \text{ l/l-atm}$$

\*Ingresar el dato de T a la temperatura media donde realizará su proyecto.

### **Calculamos Cs en función de la temperatura y la altura usando la fórmula de la Ley de Henry:**

Donde:

$C_{s,i}$  = concentración del gas disuelto a saturación (mg/L)

$K_i$  = radio molecular por volumen (mg/mL)

$\beta_i$  = coeficiente de Bunsen L/L-atm

$X_i$  = fracción molar del gas

$P_{bp}$  = presión barométrica mm Hg



$$C_{s, O_2} = 1000 K_i \beta_i X_i \times \frac{P_{BP} - P_{VW}}{760}$$

$$C_{s, O_2} = 1000 \times 1.42903 \times 0.0271 \times 0.20946 \times \frac{719.55 - 25.46}{760}$$

$$C_{s, O_2} = 7.6489 \text{ mg/l de } O_2$$

Vamos a obtener  $C_2$  para el  $CO_2$  (Dióxido de Carbono)

$$C_2 = C_1 + \frac{T}{10} (C_{opt} - C_1)$$

$$C_2 = 5 + \frac{65}{100} (7.64 - 5)$$

$$C_2 = 7.85 \text{ mg } O_2/L$$

$$\frac{0.26 \text{ kg } O_2 \text{ consumido por peces}}{\text{kg de alimento}} + \frac{0.12 \text{ kg } O_2 \text{ consumido por bacterias nitrificantes}}{\text{kg de alimento}}$$

$$\frac{0.38 \text{ kg de } O_2 \text{ consumido}}{\text{kg de alimento}}$$

**\*Por fines didácticos se consideró el dato de 0.38 KgO<sub>2</sub>, es importante encontrar este valor en artículos especializados, usualmente se considera 0.50 kgO<sub>2</sub>/kg de alimento**

$$P = \frac{32.40 \text{ kg alimento}}{\text{día}} \times \frac{0.38 \text{ kg de O}_2 \text{ consumido}}{\text{kg de alimento}} \times \frac{10^6 \text{ mg}}{\text{kg}} = \frac{12,312,000 \text{ mg de O}_2}{\text{día}}$$

- Con los datos de  $C_2$  y  $P$  sustituimos en la siguiente ecuación básica y despejamos para  $Q$

$$Q = \frac{\frac{12,312,000 \text{ mg de O}_2}{\text{día}}}{\frac{(7.85 - 2) \text{ mg de O}_2}{\text{litro}}} = 2,776,923 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

$$Q = 2,776,923 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \times \frac{\text{día}}{86,400 \text{ s}} = 33.49 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

$$Q_{\text{Oxígeno}} = 33.49 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

### Resumen de Flujos Estimados de Balances de Masas

$$Q_{\text{oxígeno}} = 33.49 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

$$Q_{\text{dióxido de carbono}} = 18.89 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

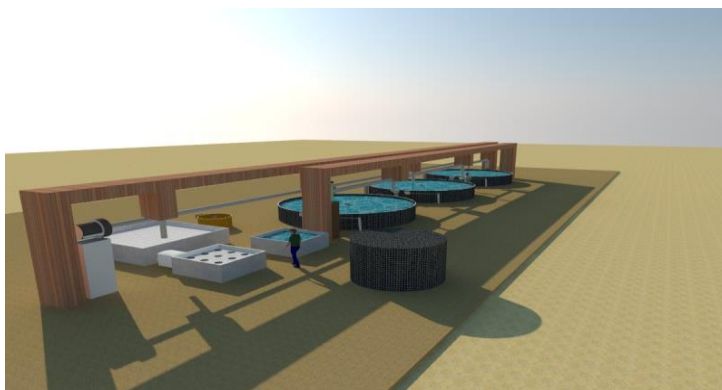
$$Q_{\text{sólidos suspendidos totales}} = 12.5 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

$$Q_{\text{nitrógeno amoniacal total}} = 9.86 \frac{\text{litros}}{\text{seg}}$$

## II. INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN PARA EL CULTIVO DE PACO

Deseamos cultivar pez Paco (*Piaractus Brachypomus*) en su etapa de engorda. Densidad de  $30\text{kg/m}^3$  en 3 tanques de 6.2m de diámetro y altura de 1.20m de altura total del tanque de cultivo. Obtendremos una producción de 900 kilogramos de Paco por cada tanque de cultivo. Lo que nos daría una producción de 2700 kilogramos total en el sistema.

**FIG 31 SISTEMA RECIRCULACION MODELO**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### DATOS REFERIDOS AL CULTIVO.

- Densidad de cultivo =  $30\text{ kg/m}^3$
- Diámetro del tanque = 6.2 m
- Numero de Tanques = 3
- Volumen Efectivo del Tanque=  $30\text{m}^3$
- Volumen Total de los Tanques=  $90\text{m}^3$
- Altura de la columna de agua = 1 m (Considerar borde de 20cm)
- Porcentaje de proteína cruda del alimento= 20%
- Cantidad de Tubería a utilizar= 60 metros.

### Flujos Estimados y Balances de Masas (Revisar Ejercicio Balance de Masas)

$$Q_{\text{oxígeno}} = 33.49 \text{ Litros/ Seg}$$

$$Q_{\text{dióxido de carbono}} = 18.89 \text{ Litros/ Seg}$$

$$Q_{\text{sólidos suspendidos totales}} = 12.5 \text{ Litros/ Seg}$$

$$Q_{\text{nitrógeno amoniacal total}} = 9.86 \text{ Litros/ Seg}$$

## 2.1.- HIDRAULICA DE TANQUE DE PECES

**FIG 32 TANQUE DE PECES SISTEMA RECIRCULACION DE PACO**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Volumen total de agua en el Tanque de 6.2m diámetro=  $V= \pi \times r_2 \times h$

- $\pi = 3.14$
- $r_2 = 3.5$  (2)
- $h = 1$  metro (altura efectiva del tanque)

Volumen total de agua del Tanque de 6.2m diámetro=  $30\text{m}^3$

Volumen total de los 3 tanques de cultivo=

- 3 Tanques de Cultivo  $\times 30\text{m}^3 = 90\text{m}^3$  de Agua en Tanque de Cultivo
- $90\text{m}^3 \times 1000$  Litros= 90000 Litros de Agua en Tanques de Cultivos

### Tiempo de Retención Hidráulica

El tiempo de retención hidráulica del tanque de cultivo se refiere al tiempo que transcurre toda la masa de agua para que esta sea renovada en su totalidad dentro de la unidad de cultivo, Timmons recomienda que este no sea mayor a 200 minutos.

En mi experiencia, el recambio total de agua dentro del tanque de cultivo no debe ser mayor a los 120 minutos.

*¿Cuál es el flujo requerido para que las 3 unidades de cultivo no tengan un TRH (tiempo de retención hidráulico) mayor a los 120 minutos?*

- 90000 litros de agua de tanques de cultivos.
- 120 minutos (Tiempo de retención hidráulico recomendado)
- $90000 \text{ Litros} / 120 \text{ minutos} = 750 \text{ Litros por minuto}$
- Transformando litros por minuto a galones por minuto=  $750\text{lpm} \times 0.27\text{gpm} = 208 \text{ Galones por minuto}$

Este sistema funciona por gravedad hasta el sumidero y luego es dirigido por una bomba centrífuga hacia los tanques.

## 2.2.- PÉRDIDAS POR FRICCIÓN DE TUBERÍAS

FIG 33 VISTA LATERAL TUBERIAS RAS



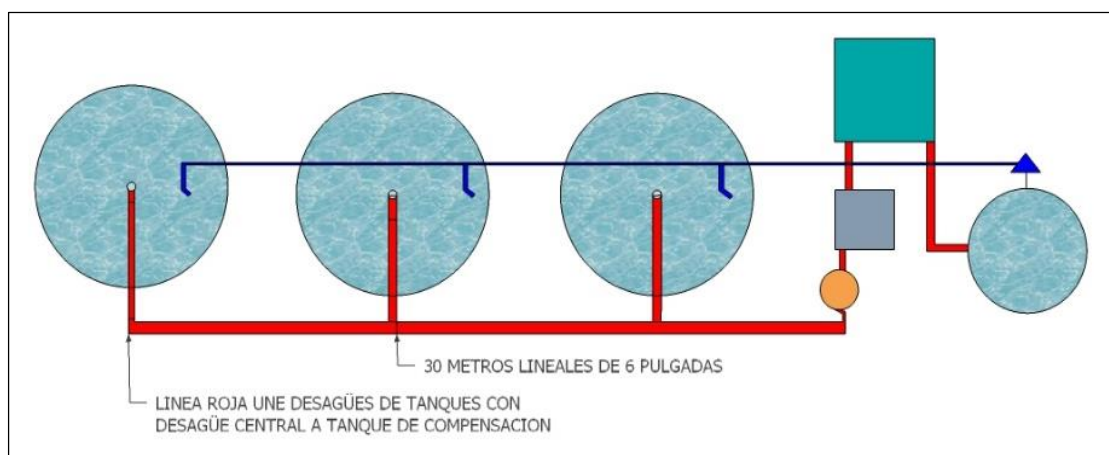
Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

El valor de pérdida de flujo por fricción de tuberías está calculado en base a fórmulas y constantes que entre sí tratan de reducir el margen de error y llegar a los requerimientos deseados. A continuación, procederemos a calcular las pérdidas por fricción de tuberías en nuestro sistema de recirculación:

### **Para 6" Pulgadas desagüe de tanques a sumidero.**

- Longitud de Tuberías= 30 metros de largo o 98.42 pies.
- Flujo de agua requerido para el sistema de recirculación fase de engorda=208gpm

FIG 34 DIAGRAMA EN PLANTA TUBERIA DE DESAGÜES



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



En nuestro caso el Sistema de recirculación a diseñar es de **caída libre** llegando el flujo hasta el sumidero o tanque de compensación, de ahí succiona la bomba hasta los tanques de cultivo. El cuadro nos enseña cómo obtener el flujo laminar requerido.

**FIG 35 TABLA PERDIDA FRICCION POR TUBERIA**

(Pérdida expresado en pulgadas de agua por 100' de tubería)

		Tubería PVC SCH 40									
		Diámetro nominal (pulgadas)									
		.25	.5	.75	1	1.25	1.5	2	3	4	6
		Diámetro interno (pulgadas)									
		.25	.62	.80	1.03	1.360	1.59	2.05	3.04	4.00	6.03
		Diámetro interno (mm)									
		6.3	15.8	20.4	26.1	34.5	40.4	52.0	77.3	101.5	153.2
Galones por minuto (gpm)	.25	8.3									
	.50	25.0	.39								
	1.0		1.2								
	2.0		3.8								
	3.0		7.6	2.3							
	4.0		12.3	3.7							
	5.0		19.0	5.0	1.7						
	10.0			17.0	5.3	1.5					
	15.0			32.0	11.0	3.0	1.4				
	20.0				19.0	5.0	2.2				
	30.0				39.0	10.0	4.7	1.4			
	50.0					25.0	12.0	3.6	.54		
	75.0						25.0	7.5	1.1		
	100.0						43.0	13.0	1.8	.5	
	125.0							19.0	2.7	.7	
	150.0							26.0	3.8	1.0	
	200.0							45.0	6.3	1.7	.25
	250.0								9.3	2.5	.35

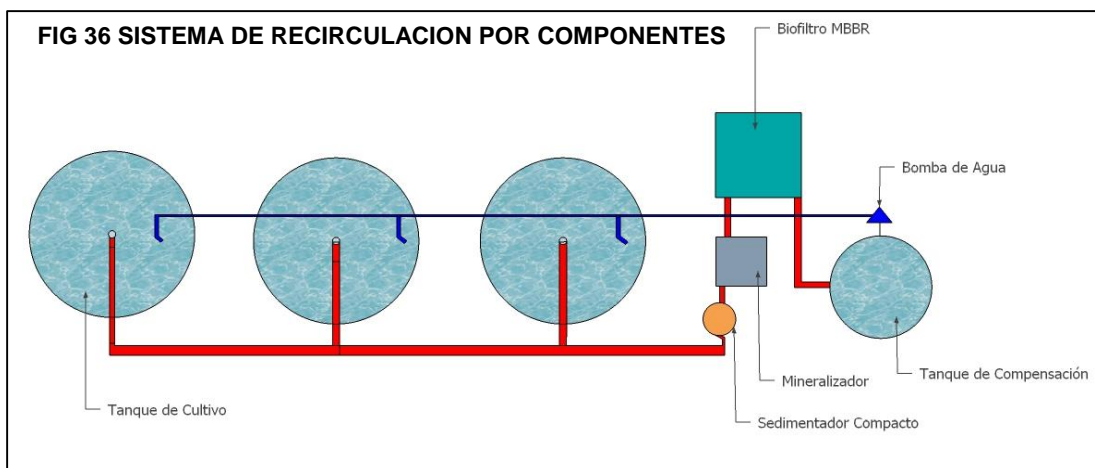
Fuente: PENTAIR AQUATIC ECOSYSTEM

Entonces:

- 98.42 pies
- 208 Galones por minuto
- 6 Pulgadas (PVC SUAVE)

Constantes:

- $g = 32.2 \text{ pies/seg}^2$
- $v = \text{VER TABLA 1.1}$



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Tabla 1.1 Propiedades físicas del agua

Temp °C	Densidad Kg/m3	Viscosidad Cinematica (m2/s) E-06	Presion Vapor mmHg
0	999.84	1.79	4.8
1	999.9	1.73	5.1
2	999.94	1.68	5.4
3	999.97	1.62	5.8
4	1000	1.57	6.2
5	999.97	1.52	6.6
10	999.7	1.31	9.1
15	999.1	1.13	12.5
20	998.21	0.99	17.3
25	997.05	0.88	23.9

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

## Cálculo de Fricción de tuberías lineal y con accesorios

- 98.42 pies
- 208 Galones por minuto
- 6 Pulgadas (PVC SUAVE)

Constantes:

- $g = 32.2 \text{ pies/seg}^2$
- $\nu$  (viscosidad) =  $0.00001065 \text{ pies}^2/\text{seg}$

1. Área de corte de sección:

$$\circ A = \pi r^2$$

$$\square \pi = 3.1416$$

$$\square r^2 = \left(\frac{0.5}{2}\right)^2 = 0.0625$$

$$\square A = \pi r^2 = 3.1416 \times 0.0625 = 0.19635 \text{ pies}^2$$

2. Encontrar la velocidad

- $V = \frac{Q \text{ (flujo)}}{A \text{ (área de corte de sección)}}$
- $V = \left(\frac{208 \text{ gal}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ pie}^3}{7.48 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}\right) \times \frac{1}{0.19635 \text{ pies}^2}$
- $V = \frac{0.4634 \text{ pies/seg}}{0.19635}$
- $V = 2.365 \text{ pies/seg}$  (como lámina, no como volumen)

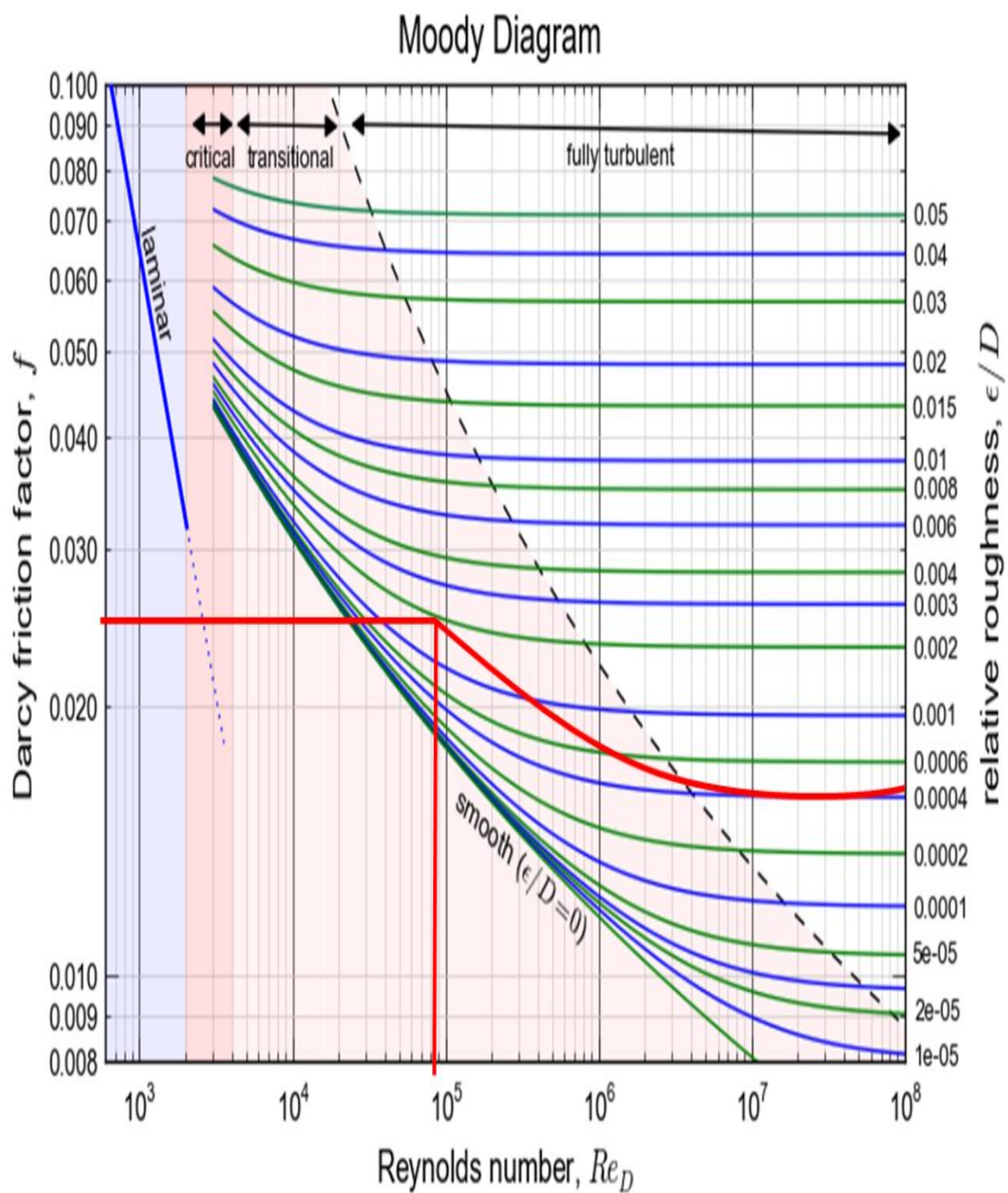
### 3. Número de Reynolds:

- $Re = \frac{V \text{ (Velocidad)} \times D \text{ (Diámetro)}}{v \text{ (viscosidad)}}$
- $Re = \frac{2.365 \frac{\text{pies}}{\text{seg}} \times 0.119635 \text{ pies}}{0.00001065 \frac{\text{pies}^2}{\text{seg}}}$
- $Re = 26,567$
- Buscar f (factor de fricción) en la Tabla 1.2

**TABLA 1.2**

Re	F
2,300	0.042
10,000	0.030
20,000	0.025
50,000	0.021
75,000	0.019
100,000	0.018
200,000	0.016
500,000	0.013
1,000,000	0.012
2,000,000	0.011

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



Tenemos (en base a la Tabla 1.2):

- $Re$ : 26,567
- $f$ : 0.025
- Diagrama de Moody

#### 4. Aplicamos Darcy Weisbach

- $HL = f\left(\frac{V^2}{2g}\right)\left(\frac{L}{D}\right)$

$$\bullet HL = 0.025 \times \left( \frac{(2.365 \frac{pies}{seg})^2}{2 \times (32.2 \frac{pies}{seg^2})} \right) \times \left( \frac{98.42 \text{ pies}}{0.119635 \text{ pies}} \right)$$

- $HL = 0.025 \times \left( \frac{2.365 \text{ pies}}{64.4} \right) \times (822.66)$

- $HL = 0.025 \times (0.03672 \text{ pies}) \times (822.66)$

- $HL = 0.7552 \text{ pies}$

- *Para los accesorios:*

- *Encontrar las constantes:*

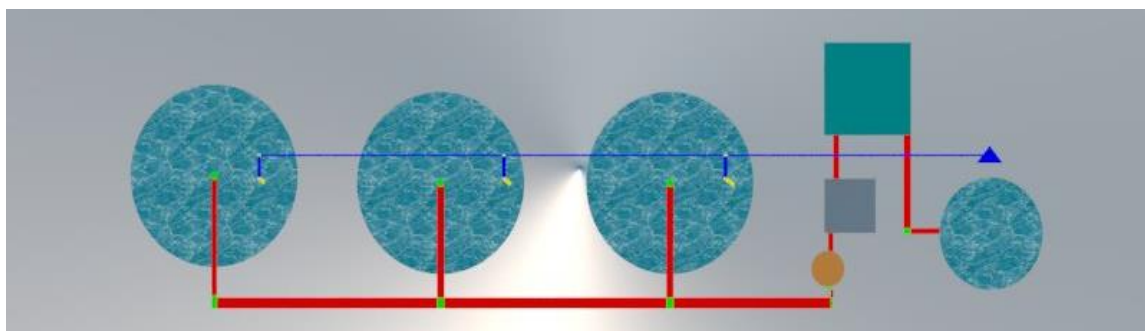
- g: 32.2 pies/seg<sup>2</sup>

- 2. Utilizar los valores anteriores:

- $A = \pi r^2 = 3.1416 \times 0.0598 = 0.1879 \text{ pies}^2$

$$\bullet V = \frac{Q (\text{flujo})}{A (\text{área de corte de sección})} = 2.365 \text{ pies/seg}$$

### FIG 37 ACCESORIOS DE SISTEMA DE RECIRCULACION



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



5. Buscar los coeficientes (K) para cada accesorio:

Tipo de Tubería	Diametro Tubería Pulgadas	
	4"	6"
Codo de 90°	0.51	0.45
Codo de 45°	0.272	0.24
Tee	0.34	0.3
Valvula de Bola	0.05	0.05

16 CODOS

8 TEE

- Aplicamos la sustitución de la fórmula, reemplazamos y multiplicamos por cada uno de los coeficientes.

$$- HL = K \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

- 16 \* Codos amplios 45° = 0.24
- 8 \* Tee directos = 0.3
- 16 Codos 45°: K = 0.24
  - $HL = 0.24 \left( \frac{2.365^2}{2 \times 32.2} \right) = 0.24 \left( \frac{5.59}{64.2} \right)$
  - $HL = 0.020 \text{ pies}$
  - $HL = 0.020 \text{ pies} \times 16$
  - $HL = 0.33 \text{ pies}$
- 8 Tee: K = 0.3
  - $HL = 0.3 \left( \frac{2.365^2}{2 \times 32.2} \right) = 0.3 \left( \frac{5.59}{64.2} \right)$
  - $HL = 0.026 \text{ pies}$
  - $HL = 0.026 \text{ pies} \times 8$
  - $HL = 0.2090 \text{ pies}$

Resumen de Fricción por tubería para 6" Pulgadas:

Fricción para tuberías HL=0.7552 pies

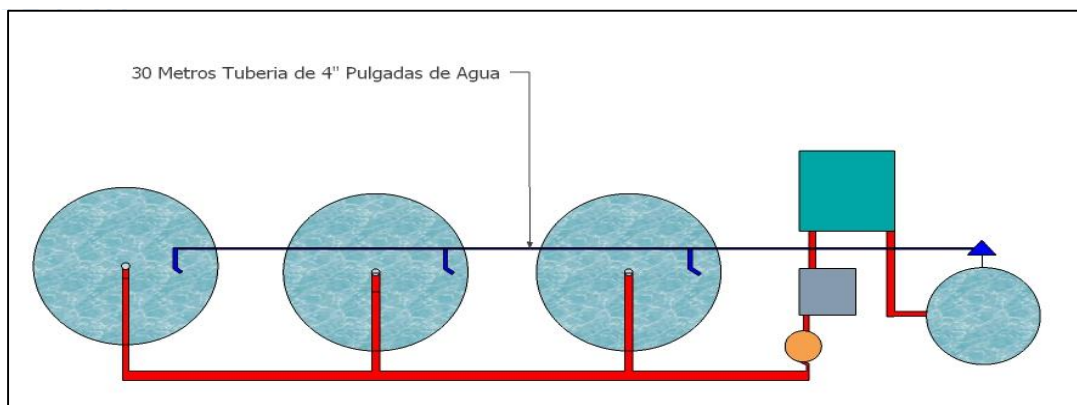
Fricción para Accesorios HL=0.33 pies

HL=0.2090 pies

Total, de pérdidas por fricción tubería de 6" = 1.2942pies.

**Para 4" Pulgadas ingreso de agua a tanques de cultivo.**

**FIG 38 VISTA EN PLANTA SISTEMA RECIRCULACION ENTRADA TUBERIA**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

- Longitud en Tuberías= 30 metros de tuberías o 98.42 pies de tuberías.
- Flujo requerido para el sistema de recirculación fase de engorda=208gpm

En el caso de retorno de agua hacia los tanques de cultivos queremos que sea un flujo un tanto turbulento. Que finalmente nos hace considerar utilizar un tubo de 4 pulgadas.

(Pérdida expresado en pulgadas de agua por 100' de tubería)

	Tubería PVC SCH 40									
	Diámetro nominal (pulgadas)									
	.25	.5	.75	1	1.25	1.5	2	3	4	6
	Diámetro interno (pulgadas)									
	.25	.62	.80	1.03	1.360	1.59	2.05	3.04	4.00	6.03
Galones por minuto (gpm)	Diámetro interno (mm)									
	6.3	15.8	20.4	26.1	34.5	40.4	52.0	77.3	101.5	153.2
	.25	8.3								
	.50	25.0	.39							
	1.0		1.2							
2.0			3.8							
3.0			7.6	2.3						
4.0			12.3	3.7						
5.0			19.0	5.0	1.7					
10.0				17.0	5.3	1.5				
15.0				32.0	11.0	3.0	1.4			
20.0					19.0	5.0	2.2			
30.0					39.0	10.0	4.7	1.4		
50.0						25.0	12.0	3.6	.54	
75.0							25.0	7.5	1.1	
100.0							43.0	13.0	1.8	.5
125.0								19.0	2.7	.7
150.0								26.0	3.8	1.0
200.0							45.0	6.3	1.7	.25
250.0								9.3	2.3	.35

Fuente: PENTAIR AQUATIC ECOSYSTEM

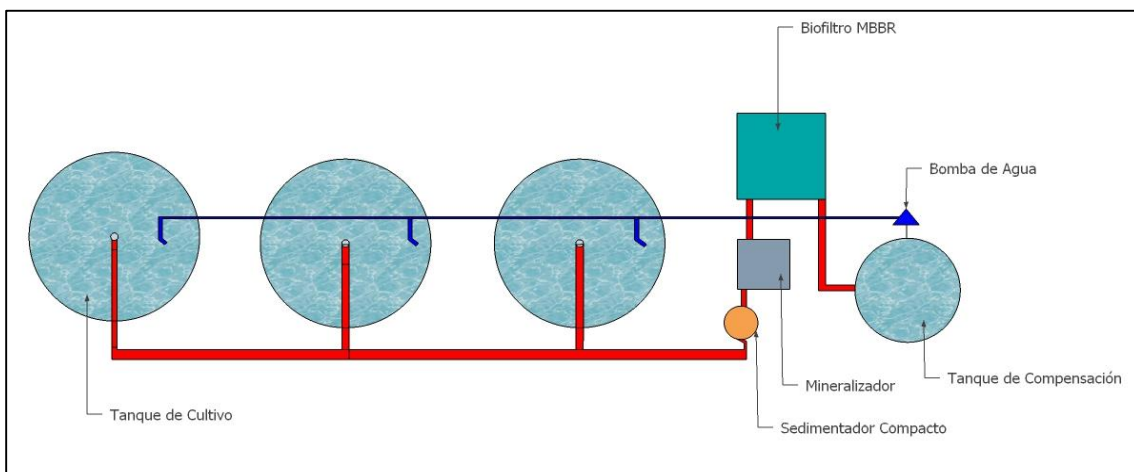
Entonces:

- 98.42 pies
- 208 Galones por minuto
- 4 Pulgadas (PVC SUAVE)

Constantes:

- $g = 32.2$  pies/seg<sup>2</sup>
- $v = \text{VER TABLA 1.1}$

**FIG 39 SISTEMA DE RECIRCULACION POR COMPONENTES**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

**Tabla 1.1 Propiedades físicas del agua**

Temp °C	Densidad Kg/m3	Viscosidad Cinematica (m2/s) E-06	Presion Vapor mmHg
0	999.84	1.79	4.8
1	999.9	1.73	5.1
2	999.94	1.68	5.4
3	999.97	1.62	5.8
4	1000	1.57	6.2
5	999.97	1.52	6.6
10	999.7	1.31	9.1
15	999.1	1.13	12.5
20	998.21	0.99	17.3
25	997.05	0.88	23.9

Cálculo de Fricción de tuberías lineal y con accesorios

- 98.42 pies
- 208 Galones por minuto
- 4 Pulgadas (PVC SUAVE)

Constantes:

- $g = 32.2 \text{ pies/seg}^2$
- $v \text{ (viscosidad)} = 0.00001065 \text{ pies}^2/\text{seg}$

6. Área de corte de sección:

- $A = \pi r^2$
- $\pi = 3.1416$
- $r^2 = \left(\frac{0.33}{2}\right)^2 = 0.027$
- $A = \pi r^2 = 3.1416 \times 0.027 = 0.08548 \text{ pies}^2$

## 7. Encontrar la velocidad

- $V = \frac{Q \text{ (flujo)}}{A \text{ (área de corte de sección)}}$
- $V = \left( \frac{208 \text{ gal}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ pie}^3}{7.48 \text{ gal}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right) \times \frac{1}{0.08548 \text{ pies}^2}$
- $V = \frac{04634 \text{ pies/seg}}{0.08548}$
- $V = 5.426 \text{ pies/seg}$  (como lámina, no como volumen)

## 8. Número de Reynolds:

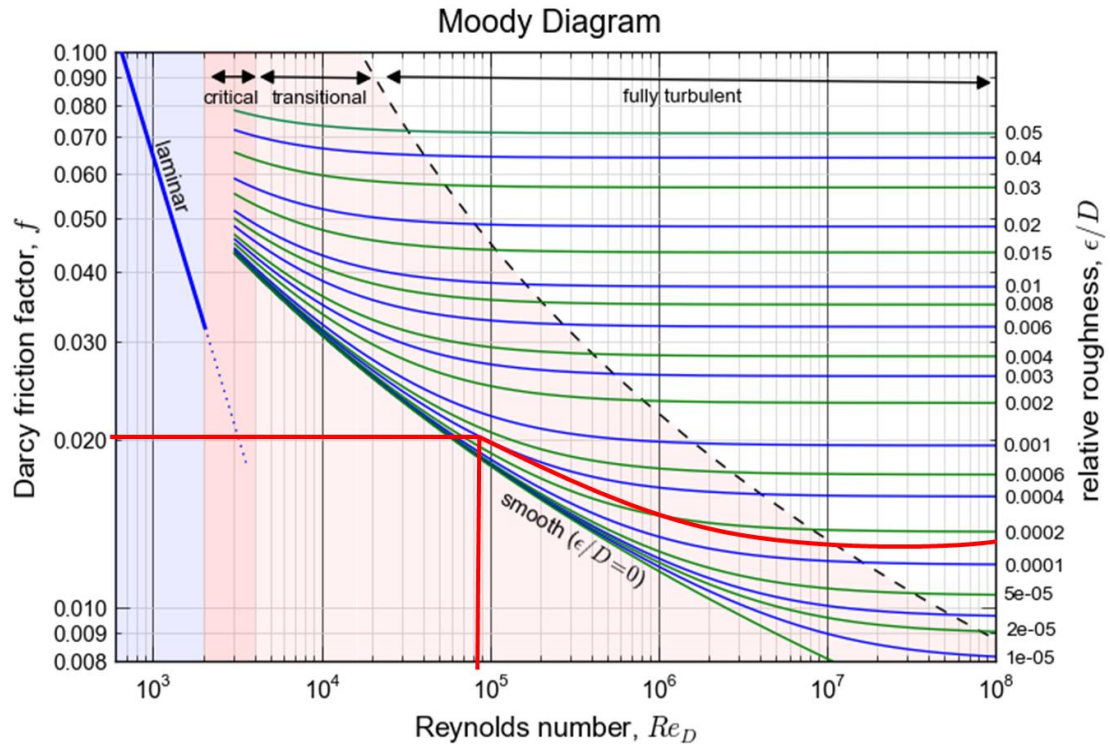
- $Re = \frac{V \text{ (Velocidad)} \times D \text{ (Diametro)}}{v \text{ (viscosidad)}}$
- $Re = \frac{5.426 \frac{\text{pies}}{\text{seg}} \times 0.08548 \text{ pies}}{0.00001065 \frac{\text{pies}^2}{\text{seg}}}$
- $Re = 43,550$
- Buscar f (factor de fricción) en la Tabla 1.2

**Tabla 1.2**

Re	F
2,300	0.042
10,000	0.030
20,000	0.025
50,000	0.021
75,000	0.019
100,000	0.018
200,000	0.016
500,000	0.013
1,000,000	0.012
2,000,000	0.011

Tenemos (en base a la Tabla 1.2):

- Re: 43,550
- f: 0.021
- Diagrama de Moody



### 9. Aplicamos Darcy Weisbach

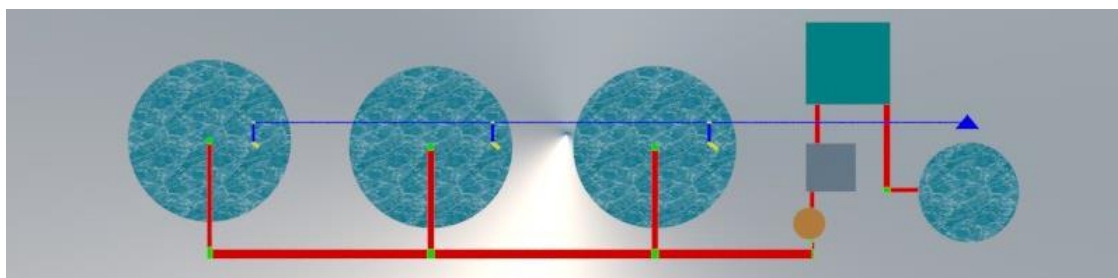
- $HL = f \left( \frac{V^2}{2g} \right) \left( \frac{L}{D} \right)$
- $HL = 0.021 \times \left( \frac{(2.365 \frac{pies}{seg})^2}{2 \times (32.2 \frac{pies}{seg^2})} \right) \times \left( \frac{98.42 \text{ pies}}{0.08548 \text{ pies}} \right)$
- $HL = 0.021 \times \left( \frac{2.365 \text{ pies}}{64.4} \right) \times (1151.38)$
- $HL = 0.021 \times (0.03672 \text{ pies}) \times (1151.38)$
- $HL = 0.8878 \text{ pies}$

➤ Para los accesorio, encontrar las constantes:

- $g: 32.2 \text{ pies}/\text{seg}^2$
- 2. Utilizar los valores anteriores:
- $A = \pi r^2 = 3.1416 \times 0.0598 = 0.1879 \text{ pies}^2$
- $V = \frac{Q (\text{flujo})}{A (\text{área de corte de sección})} = 2.365 \text{ pies}/\text{seg}$



**FIG 40 VISTA EN PLANTA ACCESORIOS SISTEMA DE RECIRCULACION**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

10. Buscar los coeficientes (K) para cada accesorio:

Tipo de Tubería	Diametro Tubería Pulgadas	
	4"	6"
Codo de 90°	0.51	0.45
Codo de 45°	0.272	0.24
Tee	0.34	0.3
Valvula de Bola	0.05	0.05

- Aplicamos la sustitución de la fórmula, reemplazamos y multiplicamos por cada uno de los coeficientes.

$$-HL = K \left( \frac{V^2}{2g} \right)$$

- 6 \* Codos amplios 45° = 0.27
- 3 \* Tee directos = 0.34

- 6 Codos 45°: K = 0.27

$$- HL = 0.27 \left( \frac{2.365^2}{2 \times 32.2} \right) = 0.27 \left( \frac{5.59}{64.2} \right)$$

$$- HL = 0.023 \text{ pies}$$

$$- HL = 0.023 \text{ pies} \times 6$$

$$- HL = 0.1410 \text{ pies}$$

- 3 Tee: K = 0.3

$$- HL = 0.34 \left( \frac{2.365^2}{2 \times 32.2} \right) = 0.34 \left( \frac{5.59}{64.2} \right)$$

$$- HL = 0.02960 \text{ pies}$$

$$- HL = 0.02960 \text{ pies} \times 3$$

$$- HL = 0.0888 \text{ pies}$$

Resumen de Fricción por tubería para 4" Pulgadas:

Fricción para tubería = HL=0.8878 pies

Fricción para Accesorios= HL=0.1410 pies

HL=0.0888 pies

✓ Total, de pérdidas por fricción tubería de 4" = 1.1176 pies.

✓ Total, de pérdidas por fricción para tuberías de 4" y 6".

**HL= 2.4118 pies**

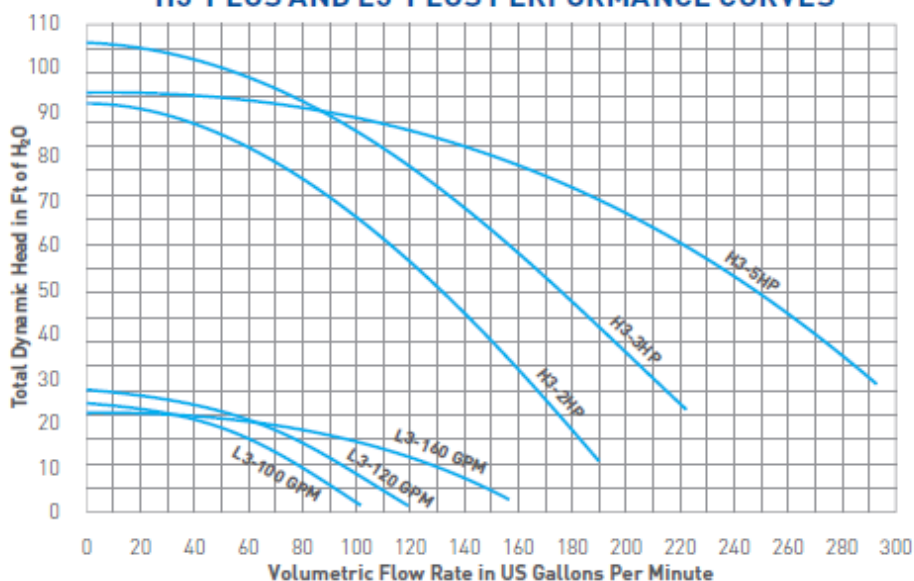
**FIG 41 SISTEMA DE RECIRCULACION CULTIVO DE PACO EN MADRE DE DIOS**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

## 2.3.- CÁLCULO DE POTENCIA DE LA BOMBA

**FIG 42 EFICIENCIA DE FLUJOS BOMBAS DE AGUA**  
**H3-PLUS AND L3-PLUS PERFORMANCE CURVES**



Fuente: PENTAIR AQUATIC ECOSYSTEM

La bomba requerida para el TRH óptimo en las unidades de cultivo es la H3-2HP que alcanza un flujo óptimo para los recambios necesarios.

Lo que nos da un flujo de 69 gpm por tanque de cultivo en caso solo utilicemos 3 tanques de peces.

La pérdida por fricción es de 2.4118 pies lo que equivale a 0.8 metros.

Consideramos que la inyección de aire por medio del blower junto con la bomba de agua nos da los recambios necesarios para no acumular solidos dentro de la unidad de cultivo. Como segunda opción y por temas de costos se podría elegir la Bomba L3-160gpm.

En la experiencia obtenida con el sistema, la turbulencia del nado del pez junto con la aireación inyectada por medio del blower nos permitió mantener el tanque de peces con una buena remoción de sólidos, siendo eliminado hacia el sedimentador compacto y luego al mineralizador.



Fuente: PENTAIR AQUATIC ECOSYSTEM

## 2.4.- DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA DE AIREACIÓN

Solubilidad de oxígeno del aire (mg/L) en agua a distintas temperaturas y salinidades			
	salinidad g/L		
Temp °C	0	5	10
0	14.6	14.11	13.64
1	14.2	13.73	13.27
2	13.81	13.36	12.91
3	13.45	13	12.58
4	13.09	12.67	12.25
5	12.76	12.34	11.94
6	12.44	12.04	11.65
7	12.13	11.74	11.36
8	11.83	11.46	11.09
9	11.55	11.18	10.83
10	11.28	10.92	10.58
11	11.02	10.67	10.34
12	10.77	10.43	10.11
13	10.53	10.2	9.89
14	10.29	9.98	9.68
15	10.07	9.77	9.47
16	9.86	9.56	9.28
17	9.65	9.36	9.09
18	9.45	9.17	8.9
19	9.26	8.99	8.73
20	9.08	8.81	8.56
21	8.9	8.64	8.39
22	8.73	8.48	8.23
23	8.56	8.32	8.08
24	8.4	8.16	7.93
25	8.24	8.01	7.79
26	8.09	7.87	7.65

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Calcular  $C_{eff}$  (valor de concentración efectiva en campo)

- $C = 8.09$

- $C_{eff} = C * campo (1.00 + KZ) = 8.61$

- $C = 8.09$

- $K = 0.016$

- $Z = 4$

$C_{eff}$  = concentración efectiva media de OD (mg/l)

- $C^*_{campo}$  = concentración de OD (mg/l) en el campo
- $K$  = constante para difusor
- $K = 0.008$  difusor grano grueso
- $K = 0.016$  difusor grano fino
- $Z = 4$  profundidad a la cual se puso el difusor en pies

Calcular  $N$  (eficiencia de transferencia en condiciones de campo)

$C = 8.09$

$C_{eff} = 8.61$

- $$N = N^{\circ} * \frac{((\beta * C_{eff}) - C) * 1.024^{(T - 20)} * \alpha}{C^*_{std}}$$

- $\beta = 1$  “varía según la especie”
- $C = 5$  “concentración de OD en el sistema de transferencia”
- $T = 26$  “Temperatura”
- 1.024 (constante)
- $C^*_{std} = 8.09$  “concentración de OD a 26°C y PB de 760 mmHg”
- $\alpha = 1.2$  “tasa de transferencia – condiciones de campo”
- $N^{\circ} = 2$  “eficiencia de transferencia en condiciones estándar (lb oxígeno /hp por hora)”

$$N(0.82) = 2 * \frac{(1 * 8.61) - 5 * (1.024^{26-20}) * (1.2)}{8.09}$$

$$N = 0.82 \text{ lb O}_2/\text{hp} - \text{h}$$

Calcular potencia del blower (hp)

- ✓ C = 8.09
- ✓ C<sub>eff</sub> = 8.61
- ✓ N = 0.82 lb O<sup>2</sup>/hp-h

$$\text{Potencia del blower (0.4)} = \frac{1.5 \times 0.99}{0.85}$$

$$\frac{32.40 \text{ kg/día}}{3 \text{ Veces x Día Alimento}} = 10.8 \text{ kg Alimento x día}$$

$$\text{DO}(0.99) = \frac{(10.8 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0.5 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kg.alimento}}) \times 2.2 \frac{\text{lb}}{\text{kg}} \times 1 \frac{\text{día}}{24 \text{ horas}}}{24 \text{ horas}}$$

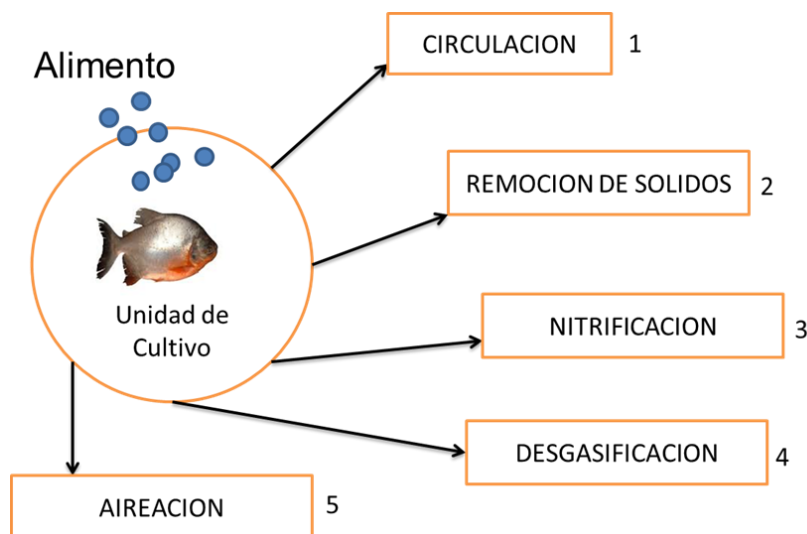
- DO = 0.37033 Demanda de oxígeno lb/h
- N = eficiencia de transferencia
- 1.5 = eficiencia del motor y el soplador al 67%

$$\text{Potencia del Blower} = 0.70 \text{ hp}$$

En el mercado usualmente encontramos blowers de 0.5hp, 1hp, 1.5hp hasta 10 o 20hp. En nuestra experiencia determinamos que usualmente la eficiencia de estos equipos tiende a bajar con el pasar de los años y su uso, por lo que recomendamos en nuestro caso usar el doble de lo calculado para esta operación, dentro de los beneficios que tenemos al usar el doble de la capacidad calculada es que se podrá escalar la producción.



## 2.5.- DISPOSICIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Son 5 los procesos unitarios referidos al dimensionamiento de un sistema de recirculación en acuicultura

### 2.5.1.- Circulación

Por medio de un balance de masas se determinó el tamaño de la bomba de agua requerida para nuestro sistema, que es de 200 galones por minutos o 13 litros por segundo. También determinamos las tuberías correctas a utilizar sabiendo que el flujo es de tipo laminar; por lo que determinamos que la tubería de desagüe correcta es de 6" pulgadas y la tubería correcta de ingreso de agua a las unidades de cultivo es de 4" pulgadas. Asimismo, dentro del proceso de circulación también hicimos mención que el tanque de cultivo es de 6.2m de diámetro con pendiente al 5% al centro, siendo el total requerido para nuestro sistema de 3 tanques en total.

**FIG 43 TANQUE DE PECES SISTEMA RECIRCULACION CULTIVO DE PACO**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### 2.5.2.- Remoción de Sólidos

Para la construcción del sistema de recirculación para el cultivo de paco, es necesario dimensionar y diseñar la unidad encargada de remoción de sólidos pesados, en nuestro caso el componente que mejor se adecua para nuestro sistema es el uso de un sedimentador compacto.

Luego procederemos al dimensionamiento y diseño de la unidad de mineralización encargada de remover los sólidos solubles. De esta manera utilizando estos dos componentes nos aseguramos que nuestro sistema de recirculación soportara la carga de peces que se propuso desde el inicio.

**FIG 44 VISTA EN 3D SISTEMA RECIRCULACIÓN CULTIVO DE PACO**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

#### *Dimensionamiento de Sistema de Remoción de Sólidos Sedimentables.*

Como hice mención en la unidad de remoción de sólidos, tenemos 3 tipos de sólidos presentes en el sistema ellos son: sólidos sedimentables, Sólidos solubles y Sólidos suspendidos. En esta unidad vamos a calcular y dimensionar el tamaño del sedimentador compacto que utilizaremos en nuestro sistema de recirculación para remover los sólidos sedimentables.

### *Dimensionamiento y Diseño de Sedimentador Compacto Cónico de 45°*

**FIG 45 SEDIMENTADOR COMPACTO Y TANQUES DE CULTIVO**

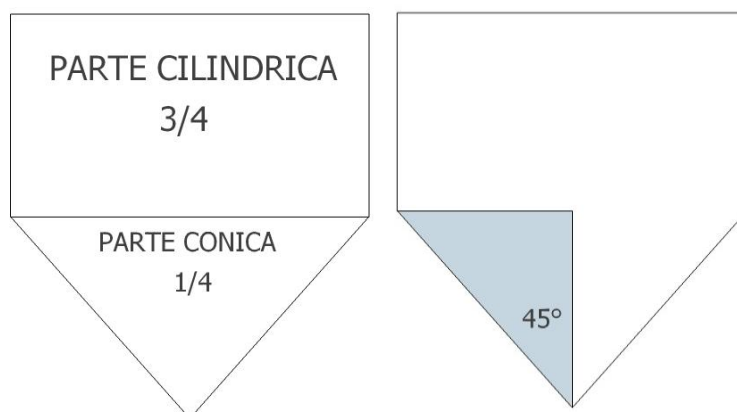


Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

#### *DATOS REFERIDOS*

- Flujo del Sistema: 13.20 Litros x Segundo
- Tiempo de retención Hidráulica en Sedimentador= 20 minutos
- Transformando a Litros por minuto=  
 $13.20\text{l/seg} \times 60\text{ Seg} = 792\text{l/min}$
- Volumen de Agua de Sedimentador: para hallar el volumen del sedimentador, tengo que eliminar minutos.  
Entonces,  $792\text{ L/min} \times 20\text{ min} = 15840\text{ Litros}$

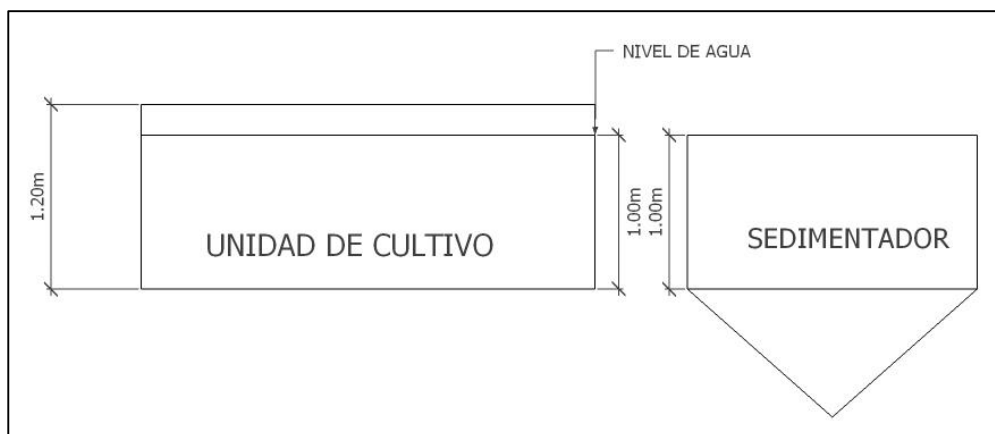
El cono representa la  $\frac{1}{4}$  parte del Sedimentador si es de 45°



Entonces:  $15840\text{ lts} \div 4 = 3960\text{ lts}$  (parte cónica)

Por lo tanto: 15840 lts – 3960 lts = 11880 lts (parte cilíndrica)

Si no queremos perder poder pensaríamos conservar altura de 1.0 m de nivel de agua y 0.2 m de nivel de seguridad.



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

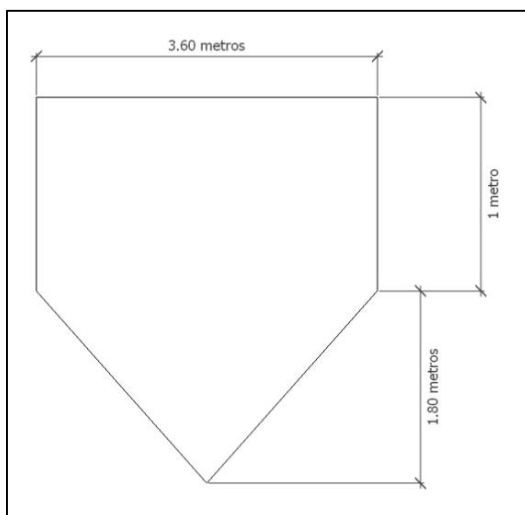
$$V = \pi \times r^2 \times h \quad r = \sqrt{\frac{V}{\pi \times h}}$$

V=volumen del cilindro = 11 m<sup>3</sup>

$\pi$  = pi = 3.1416 h= altura = 1 m

r= radio = raíz (11/(3.1416 x 1.0)) = 1.80 m

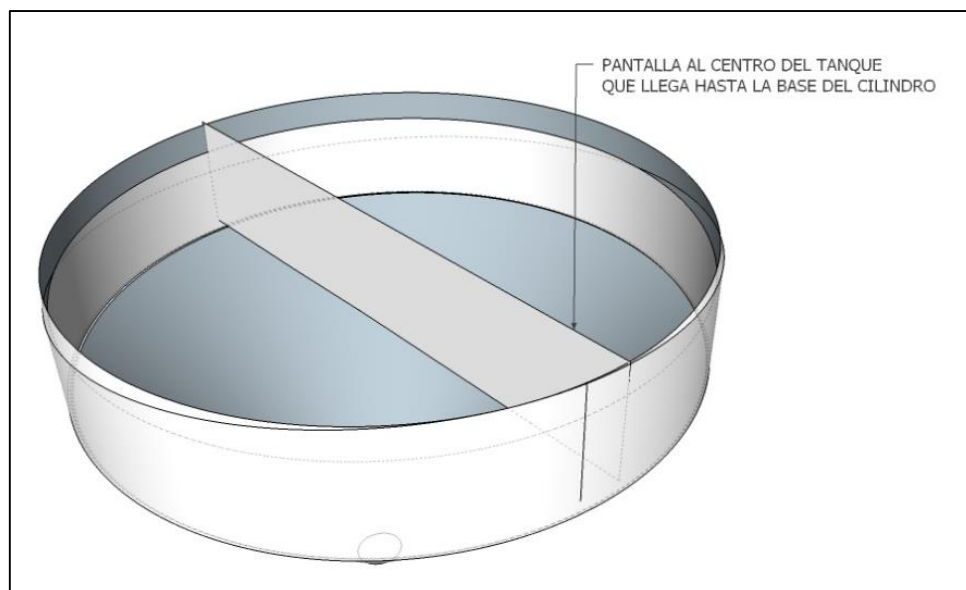
**FIG 46 VISTA DE PANTALLA INCLUIDA DENTRO DE SEDIMENTADOR**



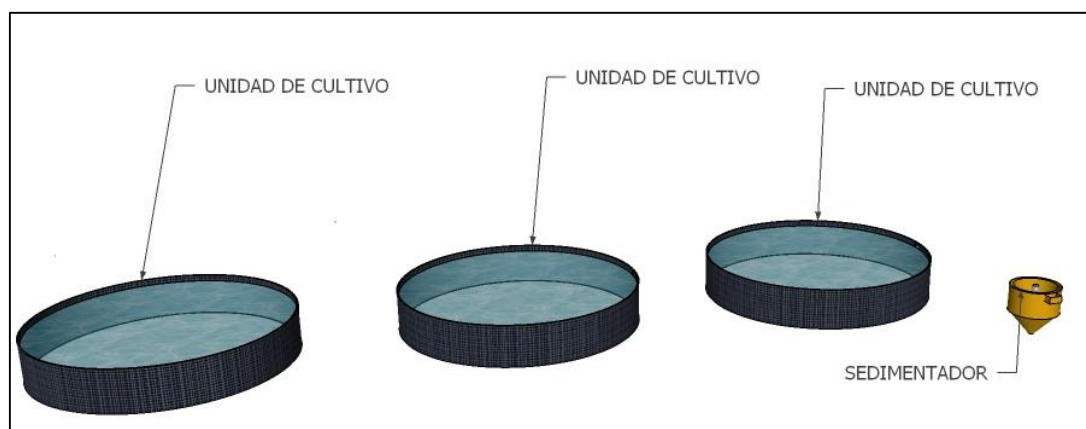
Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

- ✓ **Diámetro Total 3.60m**
- ✓ **Profundidad del cono a 45° = 1.8m de altura**

**FIG 47 OPCION SEDIMENTADOR COMPACTO CON 3 TANQUES DE PECES**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

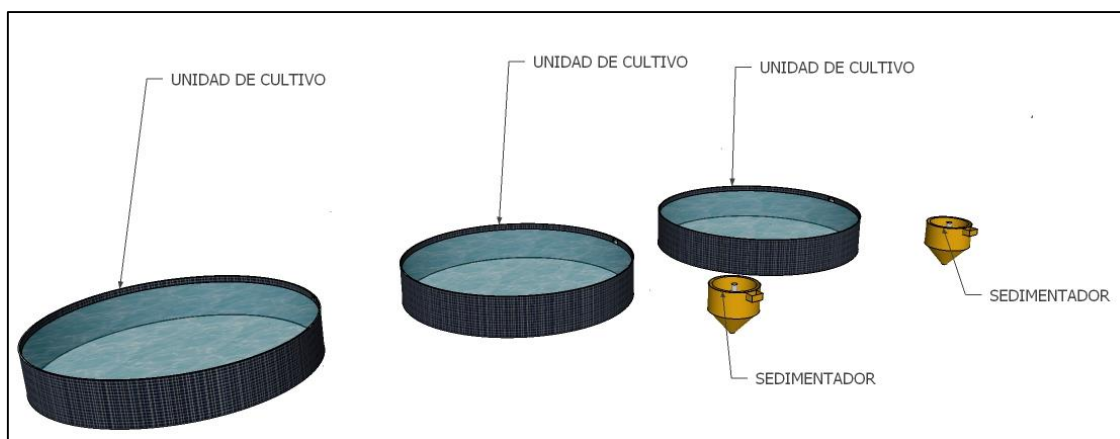


Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Si quiero utilizar 2 Sedimentadores será:

- ✓ 2 Sedimentadores de 1.80m de Diámetro x 0.90m de Alto
- ✓ Del cono, Altura del Cilindro del Sedimentador de 1m

**FIG 48 OPCION 2 SEDIMENTADORES COMPACTO CON 3 TANQUES DE PECES**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



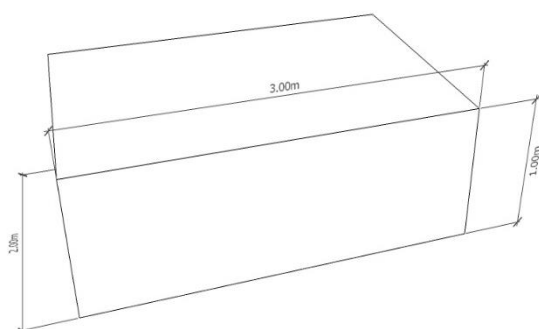
### 2.5.3.- Dimensionamiento del Mineralizador (Remoción de Sólidos Solubles)

Tiempo de retención recomendado: 7.5 minutos

Por lo tanto, si el flujo es de 13.20 L/seg

Entonces,  $13.20 \text{ L/seg} \times (7.5 \text{ min} \times 60 \text{ seg}) = 6000 \text{ litros}$

**FIG 49 COMPONENTE DE MINERALIZACION SISTEMA RECIRCULACION CULTIVO DE PACO**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### 2.5.4.- Cantidad de Malla para el Mineralizador

Recomendado utilizar  $90 \text{ m}^2$  de malla de Nylon de 3/8" por cada  $\text{m}^3$  requerido de mineralización.

Por lo tanto, el volumen requerido es de 6000 litros

Entonces,  $90 \text{ m}^2 \times 6000 \text{ m}^3 = 540,000 \text{ m}^2$

Si el rollo es de ancho de 4.7 m de ancho, entonces:

$540,000 \div 4.7 = 11.80$

1 Trozo de 4.7 m ancho x 114,000 m largo

**FIG 50 MALLAS DE NYLON PARA MINERALIZADOR**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### 2.5.5.- Diseño de Unidad de Biofiltración

Calcular el requerimiento de oxígeno disuelto (ROD)

Calcular la tasa de flujo requerida (Q tanque) para copar con la demanda de oxígeno

Calcular la producción de NAT (PNAT)

Calcular el volumen del medio necesario para remover la (PNAT) calculado a partir de la TVRA

- Tasa de alimentación (R alimento) = 32kgalimento/día
- Tasa de alimentación (r alimento) = 1.2% peso corporal/día
- Biomasa (Morg) = 2700 kg organismos
- Densidad de organismos (δ)= 30Kg/día
- Volumen del tanque (Vtanque) = 30m<sup>3</sup>
- Producción de NAT (aNAT)= kg NAT/kg alimento
- Demanda de oxígeno (aOD)= 0.5kgO<sub>2</sub>/kg alimento
- Temperatura (T) = 26°C

#### Paso 1. Calcular el requerimiento de oxígeno disuelto (ROD)

$$\begin{aligned}
 R_{OD} &= a_{OD} * \text{Tasa de alimentación} * \delta * V_{\text{tanque}} \\
 &= 0.5 \frac{\text{kg O}_2}{\text{kg}_{\text{alimento}}} * 0.012 \frac{\text{kg}_{\text{alimento}}}{\text{kg}_{\text{organismo}} \text{ día}} * 30 \frac{\text{kg}_{\text{organismos}}}{\text{m}^3} * 90 \text{m}^3 \\
 &= 0.5 \frac{\text{kg O}_2}{\text{kg}_{\text{alimento}}} * 0.012 \frac{\text{kg}_{\text{alimento}}}{\text{kg}_{\text{organismo}} \text{ día}} * 30 \frac{\text{kg}_{\text{organismos}}}{\text{m}^3} * 90 \text{m}^3 \\
 &= 18.9 \frac{\text{kg O}_2}{\text{día}}
 \end{aligned}$$

## Paso 2. Calcular la tasa de flujo ( $Q_{\text{tanque}}$ ) necesaria para la demanda de oxígeno

$$\begin{aligned} \text{Tasa de recambio del sistema de recirculación} &= \frac{V_{\text{tanque}}}{Q_{\text{tanque}}} = \frac{90 * \frac{1000L}{m^3}}{13.20/s * 60 = 792 \frac{L}{min}} = 113 \text{ minutos} \end{aligned}$$

## Paso 3. Calcular la producción de NAT (PNAT)

$$\begin{aligned} P_{\text{TAN}} &= \frac{R_{\text{alimento}} * PC * 0.092}{T = 1 \text{ día}} \\ &= \frac{32 \frac{kg_{\text{alimento}}}{día} * 0.20 \frac{kg_{\text{proteína}}}{kg_{\text{alimento}}} * 0.092 \frac{kg_{\text{NAT}}}{kg_{\text{proteína}}}}{1 \text{ día}} \\ &= 0.59616 \frac{kg_{\text{NAT}}}{día} \end{aligned}$$

## Paso 4. Calcular el volumen del medio necesario para remover la (PNAT).

$$V_{\text{medio}} = \frac{P_{\text{NAT}}}{\text{TVRA}}$$

TVRA= Es la capacidad de remoción de amonio que tiene el medio filtrante, esta información la brinda el proveedor que vende el producto o lo encuentra en artículos científicos.

$$\begin{aligned} &\frac{0.596 \frac{kg_{\text{NAT}}}{día} * 1000g}{605 \frac{g_{\text{NAT}}}{m^3 \text{ día}}} = 0.98 m^3 \text{ de medio} \end{aligned}$$

**FIG 51 MATERIAL FILTRANTE KALDNESS- BACTERIAS COLONIZADAS**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### Paso 5. Diseño del Biorreactor para Material Filtrante

=  $0.98 \text{ m}^3$  de medio material filtrante kaldness

Entonces

Pasando  $\text{m}^3$  a litros

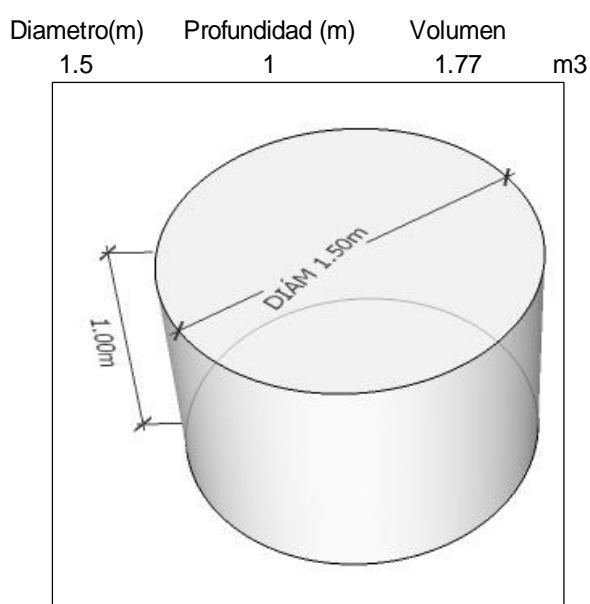
=  $0.98 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ Litros} = 980 \text{ Litros}$

Se asume llenar de agua un 65% equivalente al volumen del material filtrante.

=  $980 \text{ Litros por } 0.65 = 637 \text{ Litros}$

Es decir, el Biorreactor debe tener una capacidad de volumen de agua de

1600 Litros de agua.



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

#### Paso 6. Determinar flujo de Aire requerido dentro del Biorreactor.

- ✓ Volumen de agua de Biorreactor en  $m^3$ (metros cúbicos) =  $1.77m^3$
- ✓ Volumen de agua de Biorreactor en  $ft^3$ (pies cúbicos) =  $1.77m^3 \times 35.31ft^3 = 62.50ft^3$
- ✓ Flujo de aire requerido por cada pie cúbico=  $0.125cfm/ft^3$
- ✓ Flujo requerido dentro del Biorreactor=  $62.50ft^3 \times 0.125cfm/ft^3 = 7.82cfm$

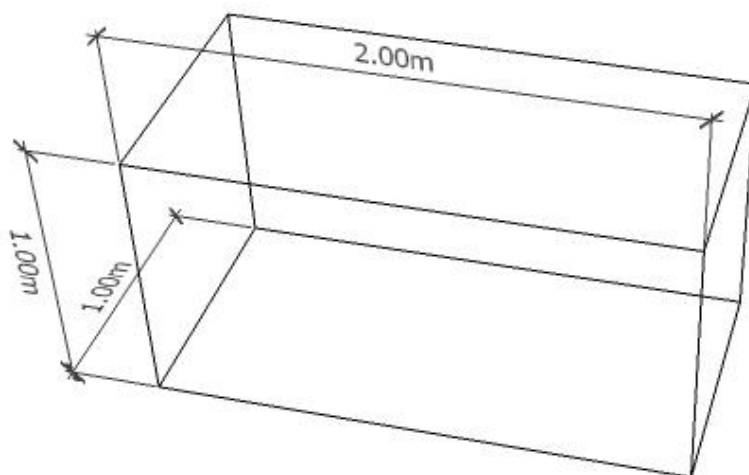
Es decir, requerimos un flujo de aire de 7.82cfm dentro del biorreactor si requerimos un buen funcionamiento del biofiltro.

\*CFM se refiere a sus siglas en inglés (Cubic Feet Minute) o pies cúbicos por minuto.

#### 2.5.6.- Unidad de Tanque de Compensación o Sumidero

En nuestro caso utilizaremos una bomba centrífuga de 1.5HP de funcionamiento continuo 24 horas x 7 días de la semana. Realizamos la siguiente operación:

Consideramos la tercera parte del volumen total de la unidad de mineralización en nuestro caso es de 6000 litros por lo que nuestro tanque de compensación es de 2000 Litros.



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Biofiltro (2)                      Tanque Compensación (3)                      Mineralizador (1)

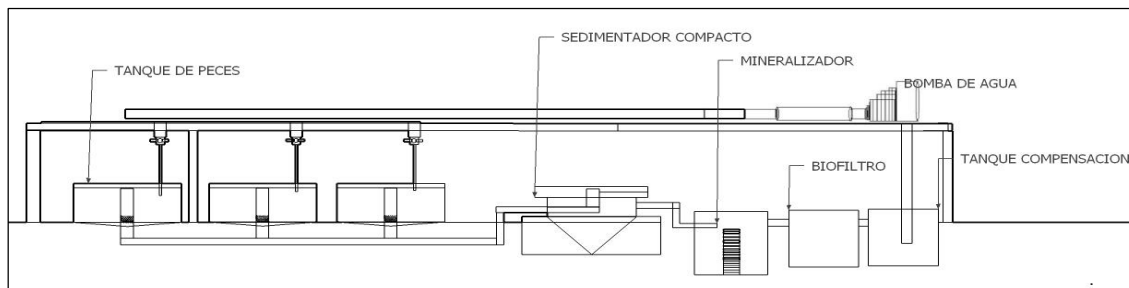
**FIG 52 MINERALIZADOR-BIOFILTRO-SUMIDERO**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



## 2.6.- CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN PARA CULTIVO DE PACO



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

El sistema de recirculación materia de este instructivo funciona bajo gravedad, es decir que los desagües centrales de cada tanque de peces se unen con los desagües de sedimentador compacto, mineralizador y biofiltro por medio de una tubería y desembocan al tanque de compensación o sumidero donde finalmente el agua es impulsada por una bomba de 200gpm.

### 2.6.1.- Obras Civiles

- Se retira toda la maleza
- Se compacta y empareja el terreno
- Se determina y marcan los niveles.



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

## 2.6.2.- Diseño e Instalación de Tanques de Cultivo de Peces

- Se traza y señala los drenajes centrales junto con el drenaje principal
- Los tanques fueron construidos por la empresa Tecsaagro Perú EIRL
- Los tanques son de Geomembrana de 6.2m de diámetro
- La distancia entre cada unidad de cultivo es de 1.5 metros.
- Se utiliza Malla Electro soldada calibre 10 como soporte alrededor del tanque de Geomembrana.
- En nuestro caso se utilizó postes de madera de 0.30m de ancho x 0.30 de grosor y 1.20m de alto que hacen de columnas a los tanques para brindar mayor soporte.
- El drenaje central es de 6" con pendiente de 5% al centro.
- Llenar los tanques para comprobar no halla fugas de agua.



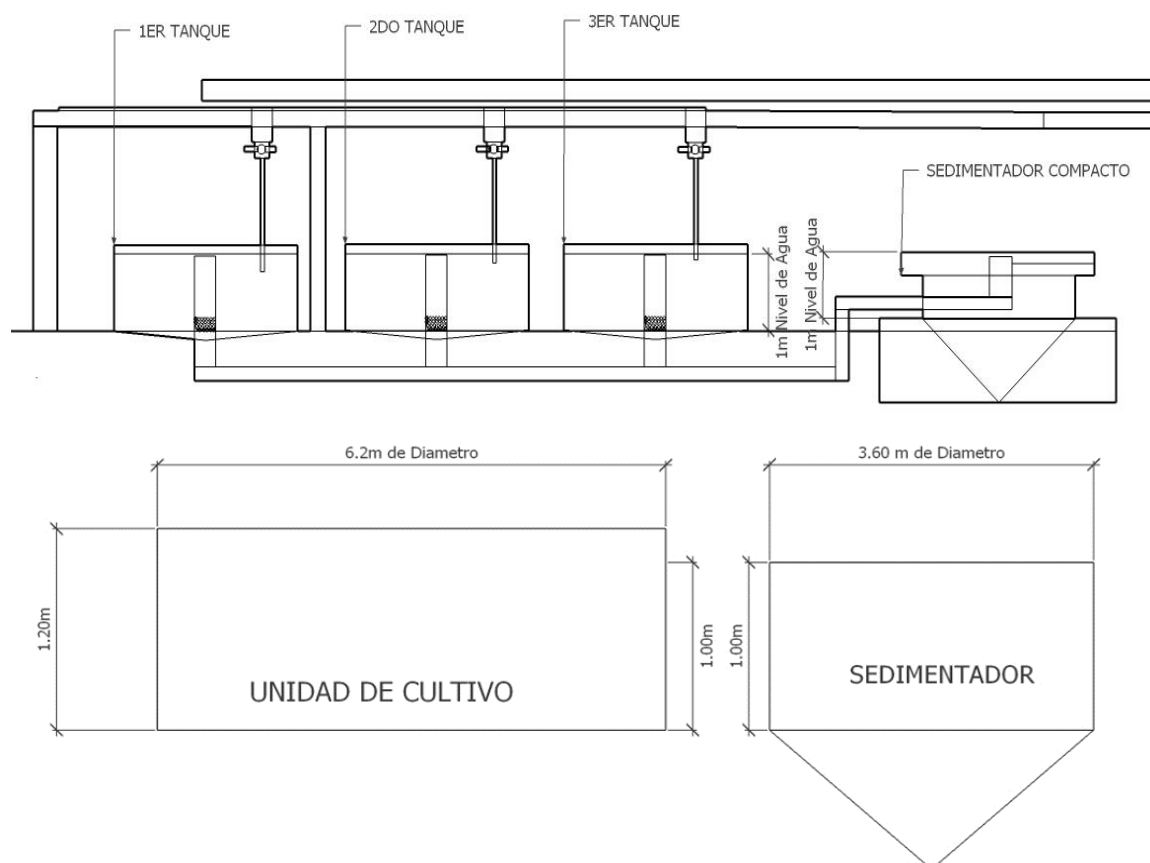
Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



### 2.6.3.- Instalación de Sedimentador Compacto

- El sedimentador compacto tiene las siguientes medidas 3.60m de Diámetro x 1.80m altura del cono y 1m altura parte de cilindro.
- Considerar colocar el sedimentador al mismo nivel de la altura del agua de los tanques de cultivo.
- En la parte final del cono del sedimentador incluir un desagüe con una llave tipo bola de 2 Pulgadas para desaguar los lodos.
- Considerar desaguar los lodos 1 o 2 veces por día por un lapso de 5 minutos.

**FIG 53 SEDIMENTADOR COMPACTO**

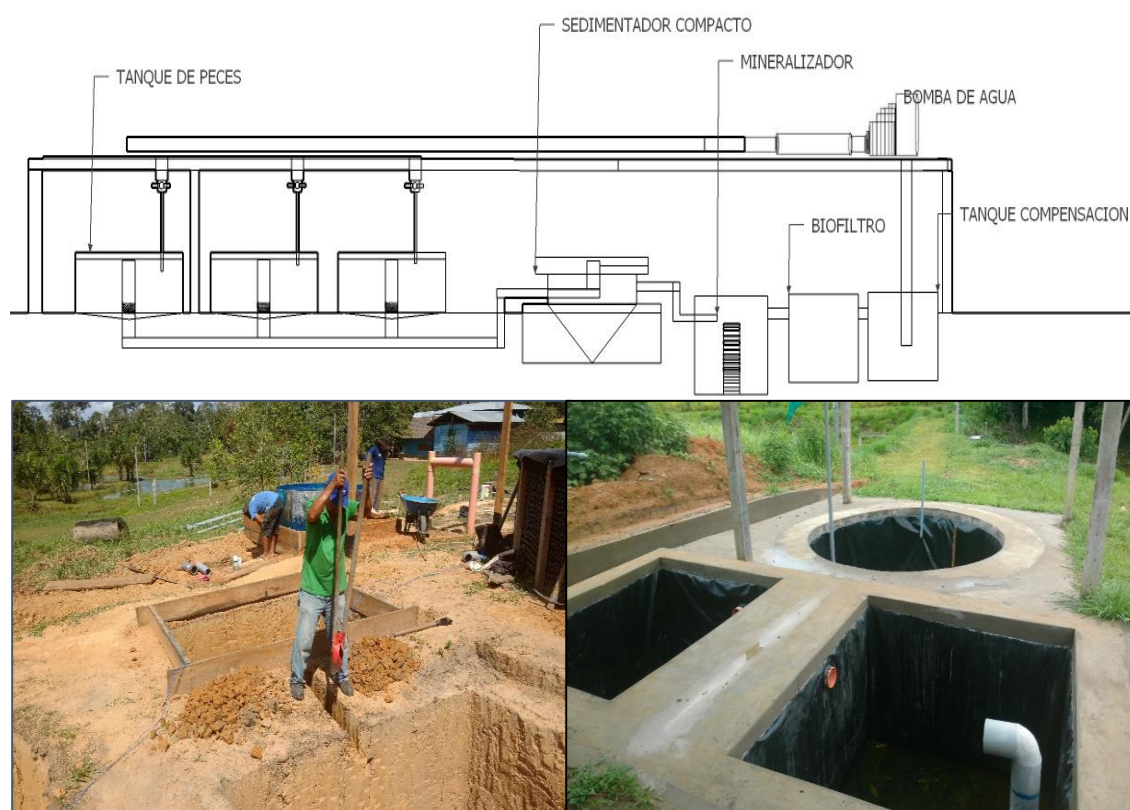


Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

#### 2.6.4.- Instalación de Unidad de Mineralización

- La unidad de mineralización (remoción de sólidos Solubles) tiene las siguientes medidas 3m de largo x 2m de ancho x 1m de alto.
- Considerar la unidad de mineralización, biofiltración y tanque de compensación que estén al mismo nivel de altura para mantener el mismo nivel de agua. Es decir que la tubería de ingreso y salida de agua estén al mismo nivel.
- La entrada y salida de agua es de 6" pulgadas.
- Tejer bloques de 0.50m de Ancho x 0.50m de largo x 1.20m de alto de mallas de nylon e introducirla dentro de la unidad de tal manera que copen en su totalidad la unidad de mineralización.
- Recordar lavar de manera gentil la malla de nylon 1 o 2 veces por semana.

**FIG 54 MINERALIZADOR**

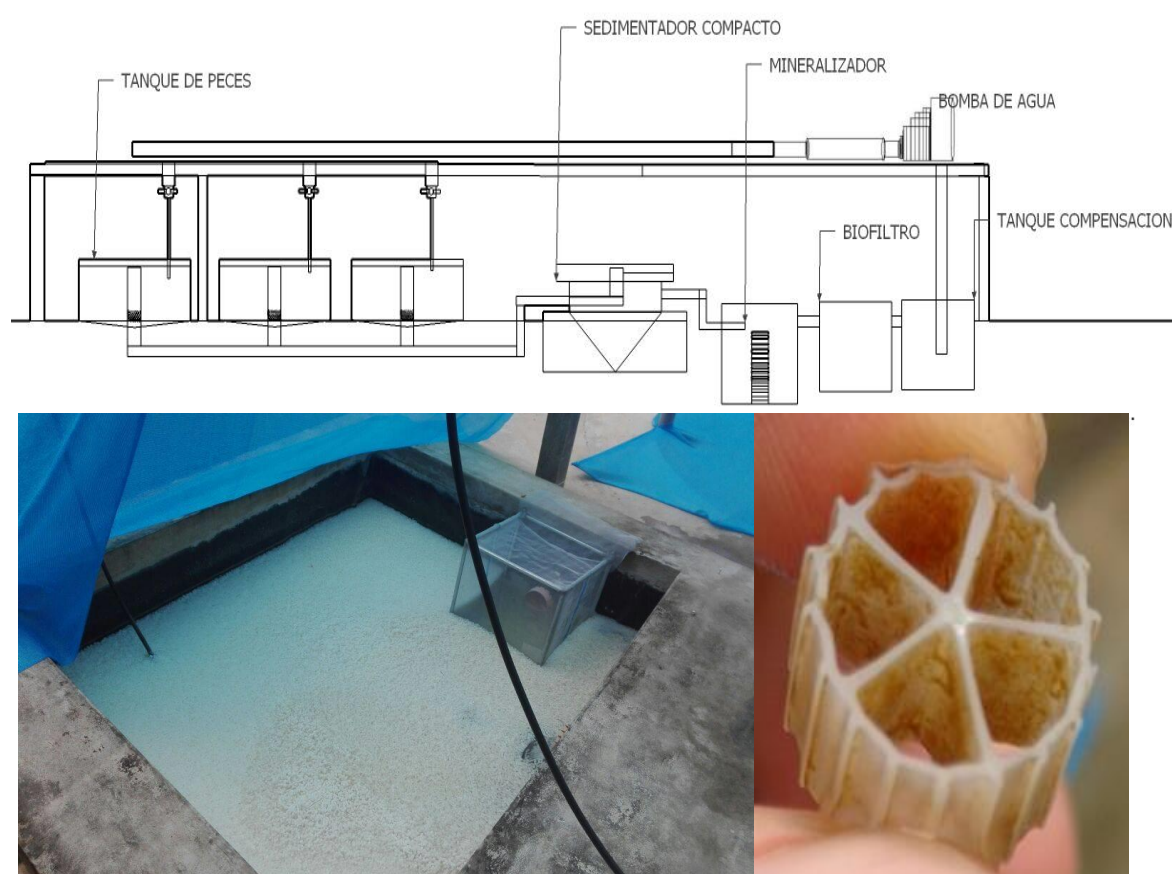


Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### 2.6.5.- Unidad de Biofiltración o de Remoción de Amonio

- La unidad de biofiltración tiene un volumen total de agua de  $1.77\text{m}^3$  o 1770 litros de agua
- Se cuenta con  $1\text{m}^3$  de material filtrante Kaldness con una remoción de 605gr de Amonio/ $\text{m}^3$  (Proveedor Eco Science Workshop SRL)
- Para este sistema se considera utilizar un flujo de aire de 8 pies cúbicos por minuto.
- Disponer de aireadores de discos o mangueras difusoras (asegúrese que provea el flujo de 7.82 calculado para este sistema y bajo las condiciones calculadas)
- Recuerde el flujo de aire dentro del biofiltro tiene que ser turbulento.

**FIG 55 SISTEMA DE BIOFILTRACION CON MATERIAL KALDNES**

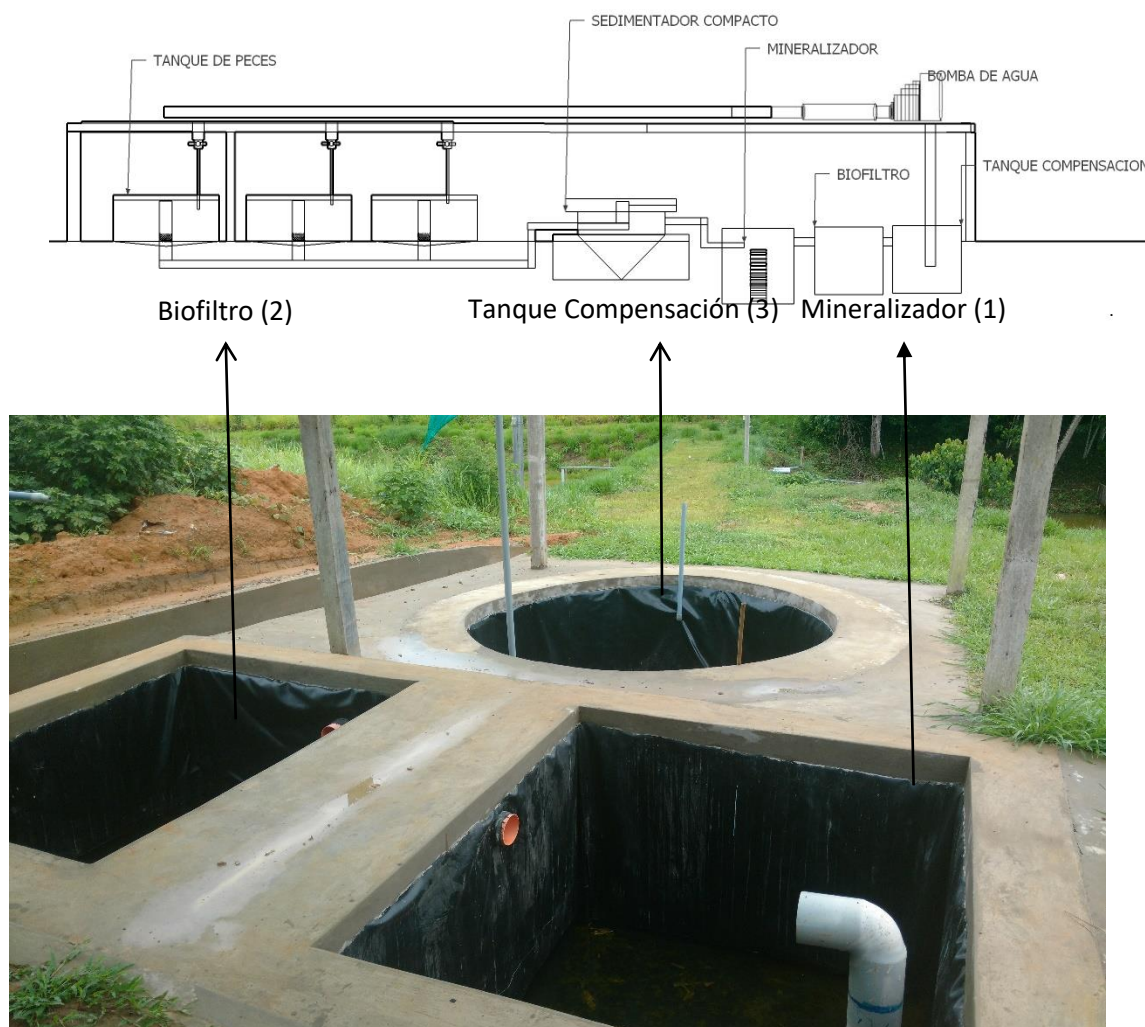


Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



### 2.6.6.- Tanque de Compensación o Sumidero

- La función principal del tanque de compensación es almacenar todas las aguas provenientes de los desagües del cultivo para luego ser impulsada por la bomba de agua hacia los tanques de peces.
- El tanque de compensación tiene una medida de 3m de largo x 2m de ancho x 1m de altura. (Ojo el diseño cambia si es una bomba sumergible, tema que ni firma parte del diseño)
- Considerar incluir una unidad adicional para tratar las aguas previa al ingreso al sistema, que permita almacenar el agua durante 1 semana para hacer los recambios con regularidad, esta calidad de agua tiene que estar establecida con los mismos parámetros de calidad de agua de los tanques de cultivo.
- En nuestro sistema ampliamos tanto la salida como el ingreso de agua de nuestra bomba de agua, es decir el ingreso y la salida de agua es de 2" y ampliamos la salida y el ingreso a 4", esto para no dañar la bomba y que el abastecimiento sea el correcto en todos los ingresos a las unidades de cultivo.



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



### 2.6.7.- Invernadero

- La ubicación del invernadero se dispuso de Oeste a Este para tener la menor incidencia de luz posible
- La puerta de ingreso se dispuso en la zona donde existe la menor cantidad de corriente de aire.
- Se realizó una limpieza de la zona (retiro de maleza, desperdicios). Asimismo, se realizó la nivelación del terreno.
- Se instaló 3 filas de 7 postes de madera de 3.50 metros de alto, con una distancia de 4 metros entre cada poste de madera en las filas laterales y 8 metros entre cada poste de la fila del medio.
- Con referencia al techo se hizo un diseño de caída a dos aguas, el cual consta de un apoyo central de un poste de madera de 35 metros de largo y 2 varillas laterales de 30 metros de largo.
- Para el techo tipo de caída de 2 aguas se utilizó alrededor de 16 varillas de 8 metros de largo por cada lado el cual se apoyaban en los postes de apoyo lateral.
- Se utilizó malla tipo Rachel de tipo verde oscuro que permite una sombra del 90%, por lo que la incidencia lumínica durante todo el día es muy baja o casi nula, lo que nos permite que no haya un aumento desmedido de microalgas en la unidad de cultivo.

**FIG 56 INVERNADERO PARA SISTEMA RECIRCULACION CULTIVO DE PACO**



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### **III. MANEJO TÉCNICO DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN COMERCIAL PARA EL CULTIVO DE PACO**

#### **3.1.- ACLIMATACIÓN Y MADURACIÓN DE UN SISTEMA DE BIOFILTRACIÓN**

El tipo de Biofiltro implementado para el sistema de recirculación es el denominado Biofiltro de medio dinámico, dentro de sus características tenemos que nitrifica y remueve dióxido de carbono.

Es importante que el biofiltro este maduro antes de introducir la densidad de peces final que se piensan cultivar dentro del sistema, para ello el usuario tiene que seguir una serie de pasos que a continuación detallo:

##### **3.1.1.- Primer paso**

Determinar la fuente de agua con la cual se llenará el sistema de recirculación, es fundamental que se haga una evaluación física, química y biológica de la fuente de agua a utilizar y si reúne todas las características necesarias.

##### **3.1.2.- Segundo paso**

En sistemas de recirculación es importante mantener una alcalinidad entre 100 a 200mg/l para nuestro ejercicio debemos llegar a una alcalinidad de 150mg/l, por lo que la forma correcta de determinar es:

En nuestro sistema de recirculación tenemos un total de 110, 589.00 litros de agua. Según (Malone 2009) determinó que por cada 3785 litros de agua se debe agregar 600 gramos de Bicarbonato de Sodio. Dividimos:

- $110,589.00 \text{ litros de agua} / 3785 = 22.29$
- $22.29 \times 600\text{gr Bicarbonato} = 17.531 \text{ kg de Bicarbonato de Sodio}$

Para llegar a la alcalinidad esperada para nuestro sistema de recirculación necesitaremos 17,531 kilogramos de Bicarbonato de Sodio.

Diluir el bicarbonato de sodio en un recipiente con agua propia del sistema. Una vez diluido el bicarbonato incorporar al sistema de recirculación.

Con el pasar de los días notará que el pH tiende a subir entre 7 a 8. De igual forma debemos medir la alcalinidad y comprobar si está dentro del rango indicado 150mg/l, caso contrario agregar bicarbonato de sodio en porciones de 3 a 5 kilogramos hasta notar el cambio en la unidad de alcalinización.

### 3.1.3.- Tercer paso

Una vez el agua llegue a los 150mg/l (rango entre 150mg/l a 200mg/l). Se introduce peces a razón entre 0.001% a 1% de la biomasa final que se desea producir. Alimentarlo según la tabla de alimentación de manera normal.

En nuestro caso la temperatura media es de 26°C por lo que el proceso de maduración demora aproximadamente 2 meses.

### 3.1.4.- Cuarto paso

Medir parámetros de calidad de agua tales como:

Oxígeno Disuelto: la medición de este parámetro debe realizarse a las 8am, 12pm, 5pm. En las noches a las 8pm, 2am y 5am. El punto de medición debe de ser al ingreso de agua de tanque de peces y en la llegada al tanque de compensación, de tal manera tenemos establecido la diferencia de oxígeno disuelto cuando ingresa al tanque de cultivo y cuando sale.

pH: la medición de este parámetro debe de ser a primera hora de la mañana.

Temperatura: la medición de este parámetro debe de ser 8am, 12pm, 5pm. En las noches a las 8pm, 2am y 5am. Los puntos de medición tanques de cultivo y tanques de compensación para establecer si hay diferencias de temperatura en la unidad de biofiltración con la de tanque de peces.

Amonio: La frecuencia con que se mide este parámetro para el proceso de maduración es de manera inter diaria.

Nitrito: La frecuencia con que se mide este parámetro para el proceso de maduración es de manera inter diaria.

Nitrato: La frecuencia con que se mide este parámetro para el proceso de maduración es de manera inter diaria.

*“Es importante señalar que durante todo el proceso de maduración del biofiltro apreciaran que el amonio tiende a subir por unos días, luego este decrece y sube los nitritos, luego este decrece y sube los nitratos”.*

### 3.2.- PLAN DE PRODUCCIÓN

# de Tanques	Volumen	Densidad (kg/m3)	MES	AÑO 1												Produccion Tanque KG
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Tanque 1	30	30	Siembra													
			Cosecha (KG)				900				900				900	2700
Tanque 2	30	30	Siembra													
			Cosecha (KG)					900				900				1800
Tanque 3	30	30	Siembra													
			Cosecha (KG)						450	450			900			1800
Producción Anual				6300												

CUADRO 1. SIEMBRA Y COSECHA DE PACO 1ER AÑO DE CAMPAÑA

# de Tanques	Volumen	Densidad (kg/m3)	MES	AÑO 2												Produccion Tanque KG
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Tanque 1	30	30	Siembra													
			Cosecha (KG)				900				900				900	2700
Tanque 2	30	30	Siembra													
			Cosecha (KG)	900				900				900				2700
Tanque 3	30	30	Siembra													
			Cosecha (KG)		450	450			450	450			450	450		2700
Producción Anual				8100												

CUADRO 2. SIEMBRA Y COSECHA DE PACO 2DO AÑO DE CAMPAÑA

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Una de las mayores ventajas de cultivar el pez Paco (*Piaractus Brachypomus*) en sistemas de recirculación es su flexibilidad para programar las siembras y cosechas, en nuestro caso la producción sirve para autoabastecimiento de dos restaurantes por lo que toda la producción va destinada para ello.

El cuadro presenta las siembras y cosechas realizadas en el sistema, cabe hacer mención que la cosecha se realiza de manera casi perenne por lo que es usual que la cosecha se pueda hacer incluso en 2 meses de manera continua, la cosecha se hace de manera semanal, luego los peces cosechados vivos se introducen a un tanque pequeño donde se ofrece vivo para luego ser degustado por el comensal.

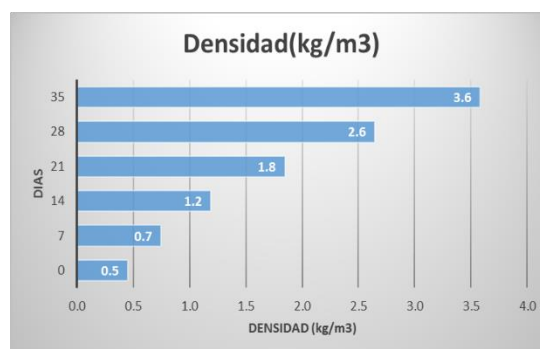
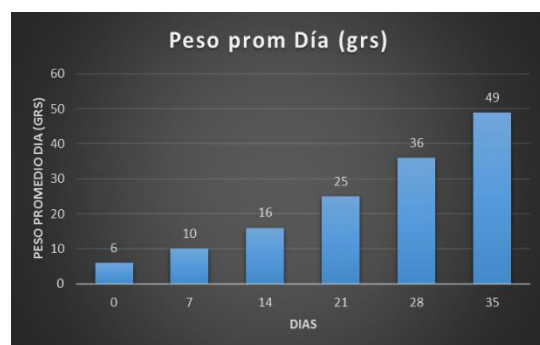
### 3.3.- TABLA Y MANEJO NUTRICIONAL DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN EL CULTIVO DE PACO

CUADRO 3. TABLA NUTRICIONAL CULTIVO DE PACO SISTEMA RECIRCULACION

TABLA NUTRICIONAL POR UNIDAD DE CULTIVO								
Fase	Días	No. Orgs	Peso prom Día (grs)	Biomasa (kgs)	Densidad(kg/m <sup>3</sup> )	% Alim./día	Raciones por día	Volumen de Recambio Diario de Agua
ALEVINOS	0	2250	6	41	0	13.0%	10	0.08
	7	2239	10	67	1	9.0%	10	0.09
	14	2228	16	107	1	9.0%	8	14.30
	21	2216	25	166	2	8.0%	8	19.76
	28	2205	36	238	3	7.0%	6	24.77
	35	2194	49	323	4	6.0%	6	28.75
CRECIMIENTO	42	2150	64	413	5	5.3%	4	32.51
	49	2148	83	535	6	4.6%	4	36.56
	56	2146	104	670	7	3.3%	3	32.83
	63	2144	127	817	9	3.1%	3	37.62
	70	2142	152	977	11	3.0%	3	43.53
	77	2140	179	1149	13	2.4%	3	41.14
ENGORDE I	84	2138	208	1334	15	2.0%	3	39.63
	91	2135	240	1537	17	1.50%	3	34.26
	98	2133	274	1754	19	1.48%	3	38.56
	105	2131	310	1982	22	1.45%	3	42.70
	112	2129	348	2223	25	1.45%	3	47.88
	119	2127	387	2469	27	1.45%	3	53.20
	126	2125	427	2722	30	1.43%	3	57.83
	133	2123	468	2980	33	1.42%	3	62.87
	140	2121	510	3244	36	1.40%	3	67.48

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

#### 3.3.1.- Etapa de Alevinaje



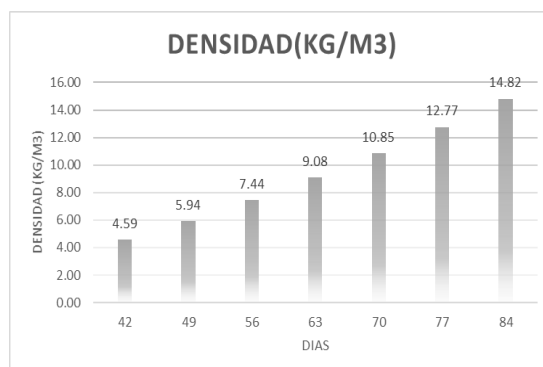
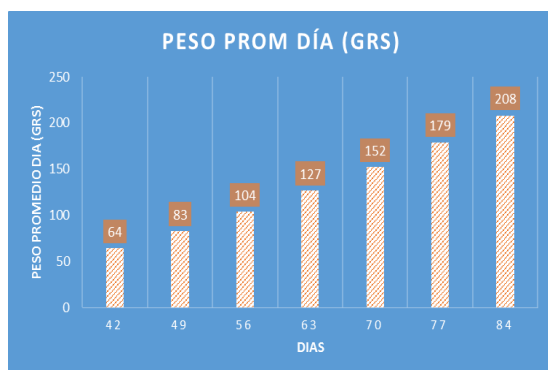
Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Se ofrece alimento a saciedad del animal esto para que no se vea afectado en el crecimiento, a diferencia de los cultivos tradicionales que es común se pueda alimentar de alimento natural que crece de manera regular en el cultivo.

La densidad registrada para nuestro cultivo en sistemas de recirculación en cultivo de paco ha sido de 3.6kg/m<sup>3</sup> al día 35 de cultivo contando que el animal se sembró con un peso de 6 gramos.



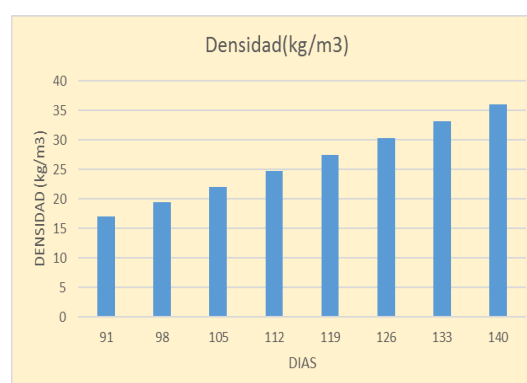
### 3.3.2.- Etapa de Crecimiento



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

La densidad de cultivo alcanzada en esta etapa es de los 14kg/m<sup>3</sup> por lo que es importante mencionar que la densidad de cultivo es dinámica, por eso al momento de diseñar el sistema de recirculación se tiene que dimensionar con su carga máxima para que este pueda llegar al último día de cultivo.

### 3.3.3.- Etapa de Engorde I



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

La densidad de cultivo en la etapa de engorda usualmente no pasa de los 30kg/m<sup>3</sup>, se muestra que la densidad máxima alcanzada es de los 36kg/m<sup>3</sup>, en la práctica este no llega a esta densidad puesto que de manera casi constante se cosecha para el abastecimiento del restaurante.

Mientras mejor se maneje el sistema de recirculación, es decir manejemos mejor el desecho de sólidos y el manejo del sistema de biofiltración mayor será la capacidad de aumentar la biomasa en el cultivo.

### 3.4.- LA SIEMBRA DE PECES EN TANQUES DE CULTIVO

#### Calidad de Agua:

**pH:** Una vez que el sistema de biofiltración se encuentra maduro, el pH tiende a bajar producto de la nitrificación por lo que debe fluctuar entre 7 y 8.

**Alcalinidad:** La alcalinidad siempre se tiende a mantener elevada, esta no debe de bajar de 100mg/l.

**Temperatura:** la temperatura en Madre de Dios en el sistema implementado, siempre se mantiene en el rango de los 26°C. Esto nos ha permitido mantener estable el sistema de biofiltración.

**Oxígeno Disuelto:** el oxígeno disuelto fluctúa entre los 6 a 7mg/l y saturando alrededor del 80%.

- Para la densidad propuesta en nuestro sistema sembraremos alrededor de 2250 peces por cada tanque de cultivo.
- Los peces se deben sembrar con un peso alrededor de los 6 gramos.
- No sembrar peces de diferentes pesos.
- No sembrar peces de tamaño grande.

El sistema de Biofiltración recién está maduro por lo que es recomendable no aumentar su densidad a su carga máxima, este tiene que ser de manera escalonada.

### 3.5.- MANEJO Y DESARROLLO EN FASE DE LEVANTE

El sistema de recirculación materia de este instructivo ha sido diseñado especialmente para auto abastecimiento de un restaurante, por lo que diseñamos el sistema para el sembrado y cosecha en el mismo tanque, básicamente por ser la primera experiencia en el cultivo de paco (*Piaractus brachypomus*) en sistemas de recirculación.

Considerando que si lo hacemos de manera escalonada con sistema propio de levante y otro de engorda podríamos causar stress al animal al momento de traslados o al manipular a la especie.

Frecuencia Alimenticia: la frecuencia de alimentación es de 5 a 6 veces por día, es importante racionar la comida para que los peces puedan aprovechar mejor el alimento.

#### 3.5.1.- Manejo de Sólidos

Sedimentador Compacto: se recomienda que se haga un desfogue de los lodos por medio de la apertura de la válvula, esta apertura de la válvula debe de ser 1 vez al día, 1 o 2 horas después de brindar la última comida a los animales.

Mineralizador: la frecuencia de lavado de malla de nylon debe de ser 1 o 2 veces por semana, este lavado debe de ser de manera gentil para eliminar el excedente de solidos de la malla. Si nota que hay un aumento en los niveles de amonio aumentar el lavado de la malla a 3 veces por semana.

#### 3.5.2.- Manejo de Calidad de Agua

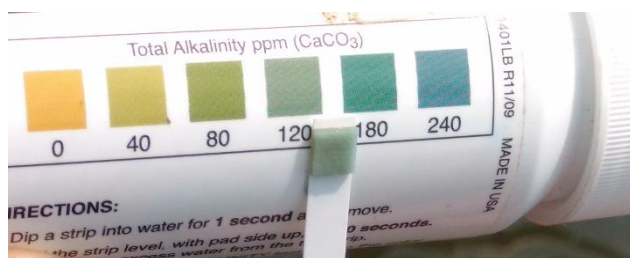
El pH tiende a bajar producto de la nitrificación, de igual forma la alcalinidad tiende a bajar producto del consumo de sales de las bacterias nitrificantes, por lo que se recomienda que este no baje de los 100mg/l.

Cuando el pH baje de igual forma lo hará la alcalinidad (experiencia propia del sistema materia del instructivo) por lo que se debe considerar agregar alrededor de 500 a 700 gramos de bicarbonato de sodio. Es importante mencionar que la alcalinidad no debe superar los 200mg/l.

El Oxígeno disuelto fluctúa entre los 6 a 7mg/l. Importante considerar que el OD (Oxígeno Disuelto no debe de bajar de 5mg/l)

Transparencia del agua, debe tener una visibilidad mayor a los 30 centímetros. De no ser el caso significa que no hay una buena remoción de sólidos y abrir con mayor frecuencia el clarificador.

FIG 56 CINTA PARA DETERMINAR ALCALINIDAD AGUA



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### 3.6.- MANEJO Y DESARROLLO EN FASE DE ENGORDA

Frecuencia Alimenticia: la frecuencia de alimentación es de 3 veces por día. Importante anotar y registrar la cantidad de alimento que queda después de la jornada de trabajo.

#### 3.6.1.- Manejo de Sólidos

Sedimentador Compacto: se recomienda para la densidad diseñada para este sistema se pueda abrir la válvula de desfogue 2 veces por día, el tiempo de apertura de esta válvula debe ser no mayor a los 2 minutos o hasta que el agua se torne a claro, es decir que todos los lodos hayan sido eliminados.

FIG 57 LODOS RECOGIDOS DE SEDIMENTADOR



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

#### 3.6.2.- Mineralizador

El lavado de la malla de nylon debe de hacer alrededor de 2 veces a la semana, si observa que el nivel de amonio es elevado, aumentar a 3 veces por semana el retrolavado.

### 3.6.3.- Manejo de Calidad de Agua

El pH tiende a bajar producto de la nitrificación, de igual manera la alcalinidad producto del consumo de sales por parte de las bacterias nitrificantes. Usualmente cuando el pH es menor a 7.5 es recomendable agregar bicarbonato de sodio o hidróxido de calcio.

En la unidad de Biofiltración el OD debe ser no menor a los 3mg/l. La transparencia del agua, debe tener una visibilidad mayor a los 30 centímetros. De no ser el caso significa que no hay una buena remoción de sólidos.



Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

### 3.6.4.- Tanques de Peces

Cada 15 días se limpia las paredes de los tanques, el cual también sirve de alimento para los peces y la parte que se precipita es eliminado al desfogue del tanque de peces. Este manejo descrito en líneas anteriores nos permite tener los tanques de cultivo sin lodos acumulados en los fondos, por lo que al momento de realizar las cosechas de manera continua el tanque de peces no se acumula ningún tipo de sedimentos en los fondos.

## 3.7.- COSECHA Y MANEJO DE TANQUES DESPUÉS DE LA COSECHA

La cosecha en el sistema de recirculación es de manera continua, puesto que sirve de abastecimiento para un restaurante. El promedio de cosecha es de 400 gramos. Por un aspecto de sanidad acuícola el centro productivo cuenta con sus propios elementos de cosecha y manejo de organismos. Una vez cosechados los tanques, se procede a una nueva siembra de peces.

No desfogamos el agua de los tanques de peces, por lo que el sistema de biofiltración ha madurado y al eliminar el agua estaríamos perdiendo la carga bacteriana y se tendría que empezar desde cero.



## IV. RENTABILIDAD ECONÓMICA DE SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN EN ACUICULTURA PARA PACO

### 4.1.- INVERSIÓN INICIAL

COTIZACION DE EQUIPOS Y SISTEMA		
PRECIO TOTAL		
CONCEPTO		
<b>TRABAJO PRELIMINAR (OBRA CIVIL Y ACONDICIONAMIENTO DE TERRENO)</b>		
Trazo y nivelación , estableciendo referencias definitivas, incluye: personal calificado, materiales y equipo.		
Excavación , con acarreo a no más de dos estaciones.		
Relleno compactado con material producto de corte, acarreado a no más de dos estaciones, incluye: Mano de obra y el equipo necesario.		
Suministro y extendido de grava de la región, espesor de 7 cm., en pasillos y andadores del proyecto.		
Terraplen requeridos para el proyecto con pendiente de 5%		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 2,000.00</b>	<b>S/. 2,000.00</b>
<b>UNIDADES DE CULTIVO ENGORDA</b>		
Tanque de Geomembrana de 6.2m de Diametro Total (HPDE)		
Malla Electrosoldada Varilla Clase 10		
Varilla de Madera (Incluye Base y Terraplen de 5% al centro)		
Mano de Obra Calificada para Construcción de Obra		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 20,150.00</b>	<b>S/. 20,150.00</b>
<b>INSTALACIONES</b>		
Instalación de Tubería Hidráulica. Instalación de Tubería hidráulica , uniones y válvulas para la correcta llegada de retorno de los tanques.		
Instalación de Tubería Sanitaria. Instalación de Tubería Sanitaria de Norma para drenajes de estanquería y filtros, incluye conecciones, válvulas y todo lo necesario para su Correcta ejecución.		
Instalación de Tubería Neumática. Instalación de Tubería de PVC y Metal galvanizado, así como válvulas y conecciones para el correcto funcionamiento del sistema de aireación.		
Instalación Eléctrica. Instalación de cables, tubería y protectores para los motores contemplados en el proyecto.		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 10,000.00</b>	<b>S/. 10,000.00</b>
<b>SISTEMA DE REMOCION DE SOLIDOS ENGORDA</b>		
<b>SISTEMA DE REMOCION SOLIDOS SEDIMENTABLES</b>		
Sedimentador Compacto con pendiente de 45º; retención en sedimentación de sólidos en 20 minutos, Sólidos Sedimentables mayores a 100 micrones en lapso establecido		
Material: Fibra de vidrio reforzada y Gel coat.		
Base para Clarificador a base de muro cemento		
<b>SISTEMA DE REMOCION DE SOLIDOS SOLUBLES MINERALIZADOR</b>		
Tanque en geomembrana pvc 800 con estructura de 2 x 2 x 1,20 MINERALIZACION		
Malla de Nylon de 3/8"		
Manguera Microporosa de 1/2"		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 13,600.00</b>	<b>S/. 13,600.00</b>

SISTEMA DE REMOCION DE AMONIO		
Cuentas de Biofiltración "ECOPANAL" con capacidad área superficial específica de 260 ft <sup>2</sup> /ft <sup>3</sup> , flotabilidad positiva, material polietileno, densidad específica < 1.0		
Tanque en geomembrana pvc 800 con estructura de 8.0 dm x 1,20 de altura		
Discos difusores de 9" Flexible		
Tubería tipo Cruz de 1/2"		
Manguera Hidráulica de 1/2 pulgada		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 7,916.20</b>	<b>S/. 7,916.20</b>

AIREACION PARA SISTEMA RECIRCULACION		
Aireador tipo blower metálico de 1.5 HP monofásico 220V, a una presión de 1.0 m de profundidad. Salida de 2.0"		
Válvula de escape para 2" con adaptador		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 6,500.00</b>	<b>S/. 6,500.00</b>

TANQUE DE COMPENSACION		
tanque en geomembrana pvc 800 con estructura de 9,0 dm x 1,20 sistema de ingreso/drenaje.		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 1,500.00</b>	<b>S/. 1,500.00</b>

EQUIPOS DE BOMBEO DE CIRCULACION (BOMBA DE AGUA 7X 24)		
Bomba H3 PLUS MONOFASICA 1.5 HP		
Variador de frecuencia y panel de control de flujos		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 8,000.00</b>	<b>S/. 8,000.00</b>

EQUIPOS DE MONITOREO Y CALIDAD DE AGUA		
Monitor de oxígeno y temperatura medición a base de membrana, incluye batería y cable de 4 m.		
kit de amonio, nitrito, nitrato, dureza, pH, Dureza por Calcio		
Peachimetro		
Cono Himhoff de Sedimentación de 1 lt		
Rack de acero inoxidable para Conos de Sedimentación		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 2,825.05</b>	<b>S/. 2,825.05</b>

EQUIPO DE ACUACULTURA		
Contenedor de plástico de 200 L		
Contenedor de plástico de 80 L		
Contenedor de plástico de 20 L		
Cuchara de Plástico para alimento		
Mesa de Trabajo Plegable de 186 cm x 76 cm x 74 cm alto		
Cepillo corto Plástico de 20"		
Cepillo largo para suelo de mandera 24"		
Tarraya monofilamento 3 m diam 3/8" malla		
Red cuchara de 16" con 1/4" malla de nylon, 4' de mango de aluminio		
Red Malla suave 1/64" mango de 12"; dimensiones 10" ancho x 6"		
Chinchorro de 10 m x 2.0 m altura al paño 16.5X2 1/4 con nudo en el paño		
Canasta de manejo perforada		
Báscula Electrónica >30 kg, en peso por gramo		
Báscula Electrónica 50-100 kg con tablero digital		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 1,507.00</b>	<b>S/. 1,507.00</b>

INVERNADERO REQUERIDO PARA EL PROYECTO		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 6,000.00</b>	<b>S/. 6,000.00</b>

LICENCIA INTELECTUAL Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 20,000.00</b>	<b>S/. 20,000.00</b>

EQUIPO DE RESPALDO GRUPO ELECTROGENO REQUERIDO PARA EL PROYECTO		
<b>SUB TOTAL</b>	<b>S/. 10,000.00</b>	<b>S/. 10,000.00</b>

<b>INVERSION TOTAL EN SOLES DE TECNOLOGIA RECIRCULACION</b>		<b>S/. 109,998.25</b>
<b>IMPREVISTOS</b>	<b>1%</b>	<b>S/. 1,099.98</b>
<b>GRAN TOTAL</b>		<b>S/. 111,098.23</b>

<b>INVERSION TOTAL EN DOLARES</b>		<b>\$33,871.41</b>
-----------------------------------	--	--------------------

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

**CUADRO 4. RESUMEN DE INVERSION INICIAL**

CONCEPTO	VALOR DE COMPRA	VIDA CONTABLE	DEPRECIACION ANUAL	AÑOS DEPRECIACION	DEPRECIACION ACUMULADA
TRABAJO PRELIMINAR (OBRA CIVIL Y ACONDICIONAMIENTO DE TERRENO)	S/. 2,000.00	10	S/. 200	4	S/. 800.00
UNIDADES DE CULTIVO (TANQUES DE GEOMEMBRANA Y SOPORTES)	S/. 20,150.00	10	S/. 2,015	10	S/. 20,150.00
INSTALACIONES	S/. 10,000.00	10	S/. 1,000	4	S/. 4,000.00
SISTEMA DE REMOCION DE SOLIDOS (CLARIFICADOR Y MINERALIZADOR)	S/. 13,600.00	5	S/. 2,720	5	S/. 13,600.00
SISTEMA DE REMOCION DE AMONIO (CONTENEDOR Y MATERIAL FILTRANTE KALDNESS)	S/. 7,916.20	2	S/. 3,958	2	S/. 7,916.20
TANQUE DE COMPENSACION	S/. 1,500.00	10	S/. 150	5	S/. 750.00
AIREACION PARA SISTEMA RECIRCULACION (BLOWER, MANGUERA MICROPOROSA)	S/. 6,500.00	10	S/. 650	2	S/. 1,300.00
EQUIPOS DE BOMBEO DE CIRCULACION (BOMBA DE AGUA 7X 24)	S/. 8,000.00	10	S/. 800	4	S/. 3,200.00
EQUIPOS DE MONITOREO Y CALIDAD DE AGUA	S/. 2,825.05	5	S/. 565	2	S/. 1,130.02
EQUIPO DE ACUACULTURA	S/. 1,507.00	2	S/. 754	1	S/. 753.50
INVERNADERO REQUERIDO PARA EL PROYECTO	S/. 6,000.00	10	S/. 600	2	S/. 1,200.00
LICENCIA INTELECTUAL Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA	S/. 20,000.00				
EQUIPO DE RESPALDO GRUPO ELECTROGENO REQUERIDO PARA EL PROYECTO	S/. 10,000.00	10	S/. 1,000	3	S/. 3,000.00
IMPREVISTOS	S/. 1,099.98				
<b>INVERSION TOTAL</b>	<b>S/. 111,098.23</b>			<b>VALOR LIBRO</b>	<b>S/. 57,799.72</b>

**CUADRO 5. SEGÚN PORCENTAJES DE INVERSION**

CONCEPTO	PORCENTAJES DE INVERSION
TRABAJO PRELIMINAR (OBRA CIVIL Y ACONDICIONAMIENTO DE TERRENO)	2%
UNIDADES DE CULTIVO (TANQUES DE GEOMEMBRANA Y SOPORTES)	18%
INSTALACIONES	9%
SISTEMA DE REMOCION DE SOLIDOS (CLARIFICADOR Y MINERALIZADOR)	12%
SISTEMA DE REMOCION DE AMONIO (CONTENEDOR Y MATERIAL FILTRANTE KALDNESS)	7%
TANQUE DE COMPENSACION	1%
AIREACION PARA SISTEMA RECIRCULACION (BLOWER, MANGUERA MICROPOROSA)	6%
EQUIPOS DE BOMBEO DE CIRCULACION (BOMBA DE AGUA 7X 24)	7%
EQUIPOS DE MONITOREO Y CALIDAD DE AGUA	3%
EQUIPO DE ACUACULTURA	1%
INVERNADERO REQUERIDO PARA EL PROYECTO	5%
LICENCIA INTELECTUAL Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA	18%
EQUIPO DE RESPALDO GRUPO ELECTROGENO REQUERIDO PARA EL PROYECTO	9%
IMPREVISTOS	1%

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

La inversión inicial con referencia al sistema desarrollado en este instructivo asciende a una suma total de S/. 111,098.23, la inversión inicial variará de acuerdo al lugar donde se desarrollará y la intensidad con referencia a la densidad que desea tener como biomasa final.

**CUADRO 6. RESUMEN DE COSTOS VARIABLES Y FIJOS POR MES**

PROYECCION DE COSTOS POR MES DE TRABAJO													
CONCEPTO	MESES DE TRABAJO												Total Anual
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	
<b>COSTOS FIJOS RECIRCULACION ACUICOLA</b>													
Pago Operarios	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 10,142
Subtotal	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 845	S/. 10,142
<b>SUB TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>S/. 845</b>	<b>S/. 845</b>	<b>S/. 845</b>	<b>S/. 845</b>	<b>S/. 845</b>	<b>S/. 845</b>	<b>S/. 845</b>	<b>S/. 845</b>	<b>S/. 845</b>	<b>S/. 845</b>	<b>S/. 845</b>	<b>S/. 845</b>	<b>S/. 10,142</b>
<b>COSTOS VARIABLES RECIRCULACION ACUICOLA</b>													
Alevines de Paco o Cachama Blanca	S/. 135	S/. 135	S/. 135	S/. 135	S/. 135	S/. 135	S/. 135	S/. 135	S/. 135	S/. 135	S/. 135	S/. 135	S/. 1,620
Alimento Balanceado	S/. 1,112	S/. 2,462	S/. 3,052	S/. 3,080	S/. 1,112	S/. 2,462	S/. 3,052	S/. 3,080	S/. 1,112	S/. 2,462	S/. 3,052	S/. 3,080	S/. 29,116
Costos de Energía Eléctrica	S/. 946	S/. 946	S/. 946	S/. 946	S/. 946	S/. 946	S/. 946	S/. 946	S/. 946	S/. 946	S/. 946	S/. 946	S/. 11,353
Adición de Sales para Regular pH	S/. 70	S/. 70	S/. 70	S/. 70	S/. 70	S/. 70	S/. 70	S/. 70	S/. 70	S/. 70	S/. 70	S/. 70	S/. 840
Subtotal	S/. 2,263	S/. 3,613	S/. 4,203	S/. 4,231	S/. 2,263	S/. 3,613	S/. 4,203	S/. 4,231	S/. 2,263	S/. 3,613	S/. 4,203	S/. 4,231	S/. 42,929
<b>GRAN TOTAL</b>	<b>S/. 3,108</b>	<b>S/. 4,459</b>	<b>S/. 5,048</b>	<b>S/. 5,076</b>	<b>S/. 3,108</b>	<b>S/. 4,459</b>	<b>S/. 5,048</b>	<b>S/. 5,076</b>	<b>S/. 3,108</b>	<b>S/. 4,459</b>	<b>S/. 5,048</b>	<b>S/. 5,076</b>	<b>S/. 53,071</b>



**CUADRO 7. RESUMEN DE COSTOS VARIABLES Y FIJOS POR AÑOS**

PROYECCION DE COSTOS ANUALES					
CONCEPTO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<b>COSTOS VARIABLES RECIRCULACION ACUICOLA</b>					
Alevines de Paco o Cachama Blanca	S/. 1,620	S/. 1,620	S/. 1,620	S/. 1,620	S/. 1,620
Alimento Balanceado	S/. 29,116	S/. 29,116	S/. 29,116	S/. 29,116	S/. 29,116
Adicion de Sales para Regular pH	S/. 840	S/. 840	S/. 840	S/. 840	S/. 840
Costos de Energia Electrica	S/. 11,353	S/. 11,353	S/. 11,353	S/. 11,353	S/. 11,353
<b>SUBTOTAL COSTOS VARIABLES ACUICULTURA</b>	<b>S/. 42,929</b>	<b>S/. 42,929</b>	<b>S/. 42,929</b>	<b>S/. 42,929</b>	<b>S/. 42,929</b>
<b>COSTOS FIJOS RECIRCULACION ACUICOLA</b>					
Pago Operario	S/. 10,142	S/. 10,142	S/. 10,142	S/. 10,142	S/. 10,142
<b>SUBTOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>S/. 10,142</b>	<b>S/. 10,142</b>	<b>S/. 10,142</b>	<b>S/. 10,142</b>	<b>S/. 10,142</b>
<b>GRAN TOTAL</b>	<b>S/. 53,071</b>	<b>S/. 53,071</b>	<b>S/. 53,071</b>	<b>S/. 53,071</b>	<b>S/. 53,071</b>

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

## 4.2.- COSTOS DE ALIMENTACIÓN Y GASTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Días	Ración/semana (kgs)	Ración /día (Kgs)	Racion/Mes (Kgs)	Tipo de alimento	Costo S/. /kg	Costo acumulado Soles	Costo Acumulado Dolares	Costo Acumulado soles x Mes
0	0.4	0.1		26	S/. 4.00	S/. 1	\$ 0.45	S/. 1,112
7	0.4	0.1		26	S/. 4.00	S/. 2	\$ 0.52	
14	67.4	9.6		26	S/. 4.00	S/. 269	\$ 82.91	
21	93.1	13.3		26	S/. 4.00	S/. 372	\$ 114.57	
28	116.7	16.7	278	24	S/. 4.00	S/. 467	\$ 143.64	
35	135.5	19.4		24	S/. 4.00	S/. 542	\$ 166.74	S/. 2,462
42	153.2	21.9		24	S/. 4.00	S/. 613	\$ 188.53	
49	172.2	24.6		24	S/. 4.00	S/. 689	\$ 211.99	
56	154.7	22.1	616	24	S/. 4.00	S/. 619	\$ 190.37	
63	177.3	25.3		24	S/. 4.00	S/. 709	\$ 218.16	
70	205.1	29.3		24	S/. 4.00	S/. 820	\$ 252.43	S/. 3,052
77	193.8	27.7		20	S/. 4.00	S/. 775	\$ 238.57	
84	186.7	26.7	763	20	S/. 4.00	S/. 747	\$ 229.83	
91	161.4	23.1		20	S/. 4.00	S/. 646	\$ 198.69	S/. 3,080
98	181.7	26.0		20	S/. 4.00	S/. 727	\$ 223.59	
105	201.2	28.7		20	S/. 4.00	S/. 805	\$ 247.59	
112	225.6	32.2	770	20	S/. 4.00	S/. 902	\$ 277.67	
119	250.6	35.8		20	S/. 4.00	S/. 1,003	\$ 308.47	
126	272.5	38.9		20	S/. 4.00	S/. 1,090	\$ 335.33	S/. 4,549
133	296.2	42.3		20	S/. 4.00	S/. 1,185	\$ 364.59	
140	317.9	45.4	1137	20	S/. 4.00	S/. 1,272	\$ 391.32	

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Los costos referidos a la alimentación de peces por kilogramo de alimento son variables por temas de transporte y alza en la harina de pescado y este varía entre 2 a 4 soles por kilogramo de alimento, por temas de didáctica decidimos hacer el ejercicio con un costo de 4 soles.

El costo referido a la alimentación de manera mensual varía entre 1000 a 4500 nuevos soles, recordemos que la densidad de cultivo final es de 30kg/m<sup>3</sup>.



### Consumo Eléctrico.

Consumo Total Energetico KW	2.2
Consumo Energia /Mes	1,576.80
Costo Total Energia/Mes	S/. 946.08
Costo Total Energia/Año	S/. 11,352.96

El consumo eléctrico en sistemas de recirculación tiene una total diferencia a los cultivos tradicionales, puesto que los equipos tanto de aire como de circulación tiene que estar prendido 24 x 7 aun así la rentabilidad es alta con un mayor consumo de electricidad. El cálculo se hizo con una tarifa de 0.60 céntimos kw/hr.

Consumo de luz		
Mes	kw	Costo mensual
Ene	2.2	S/. 946.08
Feb	2.2	S/. 946.08
Mar	2.2	S/. 946.08
Abr	2.2	S/. 946.08
May	2.2	S/. 946.08
Jun	2.2	S/. 946.08
Jul	2.2	S/. 946.08
Ago	2.2	S/. 946.08
Sep	2.2	S/. 946.08
Oct	2.2	S/. 946.08
Nov	2.2	S/. 946.08
Dic	2.2	S/. 946.08
Costo fijo mensual		S/. 946.08
Costo fijo anual		S/. 11,352.96

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

## 4.3.- ESCENARIO DE VENTA DIRECTA

FIG 57 ESCENARIO VENTAS PECES DIRECTO

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	DENSIDAD DE CULTIVO KG/M3	PRECIO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS				100%	100%	100%	100%	100%
PEZ PACO ENTERO	KG	30		6,300	8,100	8,100	8,100	8,100
	SOLES	30	S/. 10	S/. 63,000.00	S/. 81,000.00	S/. 81,000.00	S/. 81,000.00	S/. 81,000.00
TOTAL DE INGRESOS				S/. 63,000.00	S/. 81,000.00	S/. 81,000.00	S/. 81,000.00	S/. 81,000.00



Bajo un escenario de venta directa tenemos que en el primer año se obtiene una ganancia total de S/. 63,000 Soles y el segundo año de S/, 81,000 soles. Las ganancias en este escenario son si se vendiera la producción de manera directa a los mercados locales o a un acopiador.

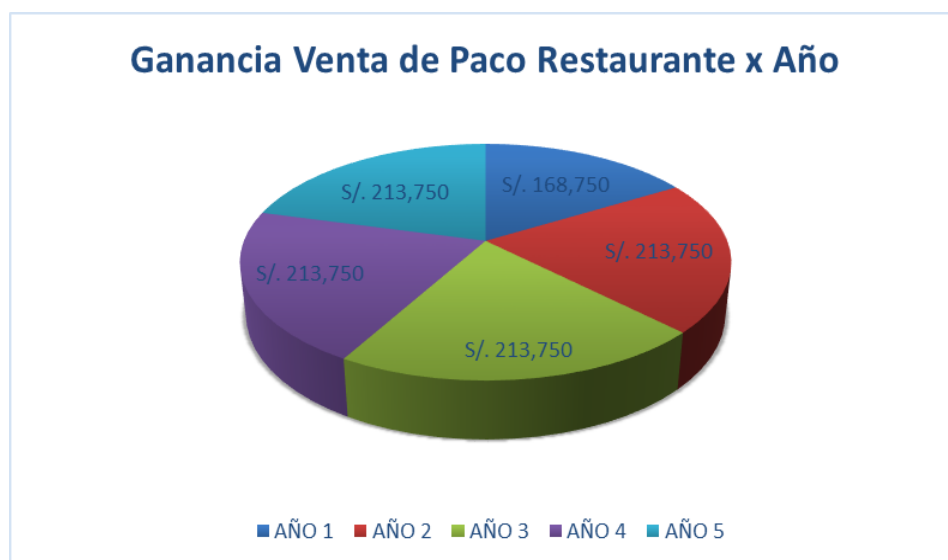
Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

#### 4.4.- ESCENARIO DE VENTA CON VALOR AGREGADO “CASO RESTAURANTE TURÍSTICO”

FIG 58 ESCENARIO VENTAS PECES A RESTAURANTE

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	DENSIDAD DE CULTIVO KG/M3	PRECIO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS				100%	100%	100%	100%	100%
VENTA PACO RESTAURANTE	KG	30		6,300	8,100	8,100	8,100	8,100
	kg	30	S/. 25	S/. 157,500.00	S/. 202,500.00	S/. 202,500.00	S/. 202,500.00	S/. 202,500.00
TOTAL DE INGRESOS				S/. 157,500.00	S/. 202,500.00	S/. 202,500.00	S/. 202,500.00	S/. 202,500.00

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



El objetivo de la inversión es proveer de manera directa con pescado a dos restaurantes de la zona de Madre de dios y marcar total diferencia con restaurantes aledaños en brindar un producto de primera calidad, fresco y sin las características del manejo del cultivo tradicional.

El costo de producción por cada plato es de S/. 6.00 Soles y la venta final de cada plato varía entre los 25 y 30 Soles, depende del tamaño del pez que está entre los 350 y 400 gramos de peso final (Dato obtenido por el dueño del proyecto).

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

## 4.5.- TASA INTERNA DE RETORNO Y VALOR ACTUAL NETO

Tasa Interna de Retorno Y Valor Actual Neto Escenario Venta directa de Peces.

ESCENARIO DE CULTIVO DENSIDAD 30KG/M3 DE PECES					
ESCENARIO DE VENTA DIRECTA DE PECES A PROVEEDOR					
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESO TOTAL VENTA PEZ ENTERO	S/. 63,000	S/. 81,000	S/. 81,000	S/. 81,000	S/. 81,000
COSTOS TOTALES	S/. 53,071	S/. 53,071	S/. 53,071	S/. 53,071	S/. 53,071
<b>INVERSION INICIAL</b>	<b>-S/. 111,596</b>				
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>S/. 9,929.42</b>	<b>S/. 27,929.42</b>	<b>S/. 27,929.42</b>	<b>S/. 27,929.42</b>	<b>S/. 27,929.42</b>
	TIR	3%			
	VAN	-S/. 22,085.28			
	B/C	1.09			

CUADRO 8. TIR Y VAN ESCENARIO 30KG/M3 VENTA DIRECTA DE PECES

CUADRO 9. TASA DE DESCUENTO Y VAN VENTA DIRECTA DE PECES

TASA DESCUENTO	VAN
15%	-S/. 33,624.54
14%	-S/. 31,501.63
13%	-S/. 29,291.09
12%	-S/. 26,988.24
11%	-S/. 24,588.07
10%	-S/. 22,085.28
9%	-S/. 19,474.17
8%	-S/. 16,748.71
7%	-S/. 13,902.41
6%	-S/. 10,928.37
5%	-S/. 7,819.20
4%	-S/. 4,566.99
3%	-S/. 1,163.28
2%	S/. 2,401.02
1%	S/. 6,135.62

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz



**CUADRO 10. TIR Y VAN ESCENARIO 15KG/M3 VENTA DIRECTA DE PECES**

ESCENARIO DE CULTIVO DENSIDAD 15KG/M3 DE PECES					
ESCENARIO DE VENTA DIRECTA DE PECES A PROVEEDOR					
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESO TOTAL VENTA PEZ ENTERO	S/. 31,500	S/. 45,000	S/. 45,000	S/. 45,000	S/. 45,000
COSTOS TOTALES	S/. 37,703	S/. 37,703	S/. 37,703	S/. 37,703	S/. 37,703
<b>INVERSION INICIAL</b>	<b>-S/. 111,596</b>				
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>-S/. 6,202.55</b>	<b>S/. 7,297.45</b>	<b>S/. 7,297.45</b>	<b>S/. 7,297.45</b>	<b>S/. 7,297.45</b>
	TIR	-32%			
	VAN	-S/. 96,205.76			
	B/C	0.21			

Para una densidad de 30kg/m<sup>3</sup> de peces se aprecia una TIR del 3% a diferencia de la densidad de 15kg/m<sup>3</sup> que es de un -32%, asimismo la utilidad neta anual en el escenario de 30kg/m<sup>3</sup> es de 3 veces más en comparación con el escenario de 15kg/m<sup>3</sup>. Bajo estas simulaciones económicas se puede decir que es rentable cultivar a una densidad de 30kg/m<sup>3</sup> y no de 15kg/m<sup>3</sup>, esto se debe básicamente a la aplicación de tecnología para este tipo de sistema y que se vuelve rentable bajo un escenario de alta densidad de cultivo y no de una densidad baja.

Tasa Interna de Retorno Y Valor Actual Neto Escenario Venta Peces en Restaurante.

**CUADRO 11. TIR Y VAN ESCENARIO 30KG/M3 VENTA PECES A RESTAURANTE**

ESCENARIO DE AUTOABASTECIMIENTO A RESTAURANTE					
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESO TOTAL VENTA PEZ EN RESTAURANTE	S/. 157,500	S/. 202,500	S/. 202,500	S/. 202,500	S/. 202,500
COSTOS TOTALES	S/. 53,071	S/. 53,071	S/. 53,071	S/. 53,071	S/. 53,071
<b>INVERSION INICIAL</b>	<b>-S/. 111,596</b>				
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>S/. 104,429.42</b>	<b>S/. 149,429.42</b>	<b>S/. 149,429.42</b>	<b>S/. 149,429.42</b>	<b>S/. 149,429.42</b>
	TIR	110%			
	VAN	S/. 413,949.86			
	B/C	6.29			

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

**CUADRO 12. TASA DE DESCUENTO Y VAN VENTA PECES A RESTAURANTE**

TASA DESCUENTO	VAN
15%	S/. 573,376.27
14%	S/. 585,125.72
13%	S/. 597,350.93
12%	S/. 610,077.15
11%	S/. 623,331.32
10%	S/. 637,142.09
9%	S/. 651,540.04
8%	S/. 666,557.79
7%	S/. 682,230.16
6%	S/. 698,594.36
5%	S/. 715,690.15
4%	S/. 733,560.11
3%	S/. 752,249.78
2%	S/. 771,807.98
1%	S/. 792,287.07

**CUADRO 13. TIR Y VAN ESCENARIO 15KG/M3 VENTA PECES A RESTAURANTE**

ESCENARIO DE CULTIVO DENSIDAD 15KG/M3 DE PECES					
ESCENARIO DE AUTOABASTECIMIENTO A RESTAURANTE					
	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESO TOTAL VENTA PEZ EN RESTAURANTE	S/. 78,750	S/. 112,500	S/. 112,500	S/. 112,500	S/. 112,500
COSTOS TOTALES	S/. 37,703	S/. 37,703	S/. 37,703	S/. 37,703	S/. 37,703
<b>INVERSION INICIAL</b>	<b>-S/. 111,596</b>				
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>S/. 41,047.45</b>	<b>S/. 74,797.45</b>	<b>S/. 74,797.45</b>	<b>S/. 74,797.45</b>	<b>S/. 74,797.45</b>
	TIR	48%			
	VAN	S/. 141,263.25			
	B/C	3.05			

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

En el escenario de auto-abastecimiento para un restaurante apreciamos que para la densidad de 30kg/m<sup>3</sup> se tiene un TIR del 110% a diferencia de 15kg/m<sup>3</sup> que se tiene un TIR de 48%. Para ambos casos se tiene buenas utilidades lo que hace rentable el sistema económicamente.

Viendo el cuadro 11 y 13 podemos decir que, para invertir en este tipo de tecnologías se hace necesario cultivar el organismo a densidades medio-alto o tener un valor agregado como el de un restaurante. Asimismo, este escenario nos permite cultivar peces en 2 etapas de cultivo una de 15kg/m<sup>3</sup> y una segunda etapa de 30kg/m<sup>3</sup> sin tener pérdidas económicas.

El cuadro 14 describe un análisis de sensibilidad considerando diferentes precios del plato de Paco en restaurante como auto-abastecimiento, lo que finalmente nos dice el análisis es que reduciendo el precio a la mitad de lo que actualmente cuesta el proyecto sigue siendo rentable con una Tasa Interna de Retorno de 39.8% a un precio final de S/. 12.50 Soles cada plato.

**CUADRO 14. ANALISIS DE SENSIBILIDAD SEGÚN PRECIO FINAL PLATO RESTAURANTE**

+/-	ANALISIS DE SENSIBILIDAD SEGÚN PRECIO				
	%	PRECIO PLATO PACO RESTAURANT	ALTERNATIVA		
			VAN	TIR	B/C
+ 100%		50.00	S/. 1,140,675	258.5%	15.0
+ 50%		37.50	S/. 777,312	187.6%	10.6
+ 40%		35.00	S/. 704,640	173.4%	9.8
+ 20%		30.00	S/. 559,295	145.0%	8.0
<b>0%</b>		<b>25.00</b>	<b>S/. 413,950</b>	<b>109.5%</b>	6.29
- 5%		23.75	S/. 377,614	109.3%	5.9
- 10%		22.50	S/. 341,277	102.1%	5.4
- 15%		21.25	S/. 304,941	94.9%	5.0
- 25%		18.75	S/. 232,269	80.1%	4.1
- 50%		12.50	S/. 50,587	39.8%	2.0

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

## 4.6.- UTILIDAD NETA Y RECUPERACIÓN DE INVERSIÓN SEGÚN ESCENARIOS DE VENTAS

Utilidad Neta y recuperación de inversión venta directa de peces enteros.

PROYECTO PEZ ENTERO				
AÑO	PRODUCCION ANUAL	INGRESO	EGRESO	UTILIDAD NETA
0				-111,596
1	6,300	S/. 63,000	S/. 53,071	S/. 9,929
2	8,100	S/. 81,000	S/. 53,071	S/. 27,929
3	8,100	S/. 81,000	S/. 53,071	S/. 27,929
4	8,100	S/. 81,000	S/. 53,071	S/. 27,929
5	8,100	S/. 81,000	S/. 53,071	S/. 27,929
Total en producción 5 Años				S/. 121,647.10
Precio Venta	S/. 10.00	PERIODO DE RECUPERACION CAPITAL		4 AÑOS 4 MESES 1.3 DIAS

PROMEDIO INGRESO MENSUAL 1ER AÑO	S/. 827.45
PROMEDIO INGRESO MENSUAL 2DO AÑO	S/. 2,327.45

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

El promedio de ingreso mensual el primer año es de S/.827.45 Soles de manera mensual, asimismo observamos que en el 2do año el promedio de ingreso mensual es de S/. 2,327.945 Soles de forma mensual. Esta información se obtiene de la suma de la producción de los 3 tanques de cultivo.

Utilidad Neta y recuperación de inversión venta directa de peces en restaurante.

PROYECTO VENTA RESTAURANTE				
AÑO	PRODUCCION ANUAL	INGRESO	EGRESO	UTILIDAD NETA
0				-111,596
1	6,300	S/. 157,500	S/. 53,071	S/. 104,429
2	8,100	S/. 202,500	S/. 53,071	S/. 149,429
3	8,100	S/. 202,500	S/. 53,071	S/. 149,429
4	8,100	S/. 202,500	S/. 53,071	S/. 149,429
5	8,100	S/. 202,500	S/. 53,071	S/. 149,429
	Total en producción 5 Años			S/. 702,147.10
Precio Venta	S/. 25.00	PERIODO DE RECUPERACION CAPITAL		2 AÑOS 1.5 MESES 4 DIAS

PROMEDIO INGRESO MENSUAL 1ER AÑO	S/. 8,702.45
PROMEDIO INGRESO MENSUAL 2DO AÑO	S/. 12,452.45

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

El promedio de ingreso mensual el primer año es de S/. 8,702.45 Soles de manera mensual, asimismo observamos que en el 2do año el promedio de ingreso mensual es de S/. 12,452.45 Soles de forma mensual. Esta información se obtiene de la suma de la producción de los 3 tanques de cultivo y la venta de plato final en restaurante.

#### 4.7.- UTILIDAD NETA POR TANQUE Y PRODUCTIVIDAD DE LA TIERRA

Nro Organismos	2089	
FCA	1.34	
Promedio Alim Diario	7.73	Kg
Precio Alimento Diario	S/. 30.91	
Promedio Alim Semana	54.09	kg
Precio Alim x Mes	S/. 216.38	
Consumo de Energia x Tanque	0.73	KW
Consumo Energia x Mes	525.6	KW
Costo Energia x Tanque	S/. 315.36	
Biomasa x Tanque	900	Kg Peces
Precio Pez Entero	S/. 10.00	
Venta Pez Entero x Tanque x Campaña	S/. 9,000.00	
Biomasa x Tanque x Restaurante	900.00	Pez a Restaurante
Precio Pez a Restaurante	S/. 25.00	
Venta Pez Restaurante x Tanque x Campaña	S/. 22,500.00	

##### *Utilidad Neta por Tanque Escenario venta pez vivo*

PROYECTO VENTA PEZ VIVO				
MES	PRODUCCION MENSUAL KG	INGRESO	EGRESO	UTILIDAD NETA
MES 0				
MES 1	900	S/. 3,000	S/. 1,036	S/. 1,964
MES 2	450	S/. 1,500	S/. 1,486	S/. 14
MES 3	450	S/. 1,500	S/. 1,683	S/. -183
MES 4	900	S/. 3,000	S/. 1,692	S/. 1,308
MES 5	900	S/. 3,000	S/. 1,036	S/. 1,964
MES 6	450	S/. 1,500	S/. 1,486	S/. 14
MES 7	450	S/. 1,500	S/. 1,683	S/. -183
MES 8	900	S/. 3,000	S/. 1,036	S/. 1,964
MES 9	900	S/. 3,000	S/. 1,486	S/. 1,514
MES 10	450	S/. 1,500	S/. 1,683	S/. -183
MES 11	450	S/. 1,500	S/. 1,692	S/. -192
MES 12	900	S/. 3,000	S/. 1,036	S/. 1,964
PRECIO VENTA		S/. 10.00		

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

En el escenario de venta directa se tiene valores que van desde pérdidas en algunos meses de 192 Soles hasta ganancias de 1,964 Soles lo que indica que no es rentable en el escenario de venta directa de peces. En este escenario no se considera la inversión inicial, por lo que la ganancia mensual difiere del cuadro presentado con anterioridad donde se aprecia un ingreso mensual mayor, asimismo este cuadro considera la producción mensual por tanque de cultivo.



Utilidad Neta escenario venta de peces en restaurante.

VENTA PEZ RESTAURANTE				
MES	PRODUCCION MENSUAL KG	INGRESO	EGRESO	UTILIDAD NETA
MES 0				
MES 1	900	S/. 16,875	S/. 3,108	S/. 13,767
MES 2	450	S/. 16,875	S/. 4,459	S/. 12,416
MES 3	450	S/. 16,875	S/. 5,048	S/. 11,827
MES 4	900	S/. 16,875	S/. 5,076	S/. 11,799
MES 5	900	S/. 16,875	S/. 3,108	S/. 13,767
MES 6	450	S/. 16,875	S/. 4,459	S/. 12,416
MES 7	450	S/. 16,875	S/. 5,048	S/. 11,827
MES 8	900	S/. 16,875	S/. 3,108	S/. 13,767
MES 9	900	S/. 16,875	S/. 4,459	S/. 12,416
MES 10	450	S/. 16,875	S/. 5,048	S/. 11,827
MES 11	450	S/. 16,875	S/. 5,076	S/. 11,799
MES 12	900	S/. 16,875	S/. 3,108	S/. 13,767
PRECIO VENTA		S/. 25.00		

Fuente: Blgo. Jesús Jiménez Sáenz

Bajo este escenario cada tanque produce entre 11 mil a 14 mil nuevos soles, es importante mencionar que en esta simulación se toma en cuenta los costos variables y fijos, no los de primera inversión. En este escenario no se considera la inversión inicial.

*Productividad De La Tierra (Kg/Ha Pez Entero)*

Este término evalúa la producción en kilogramos por espacio producido, dado en hectáreas, por lo que se divide Producción de Organismos (kg) entre el área de producción. Entonces tenemos:

Producción máxima en el sistema=8100 Kilogramos

Área de producción (ha)= 0.001

Resultado final= 810,000 kg/ha

Es decir, se produce el valor de 810,000 kg de peces por hectárea.

## 4.8.- PRODUCTIVIDAD DE MANO DE OBRA Y PRODUCCIÓN DE ORGANISMOS

### Productividad de mano de obra (kg/trabajador-día)

Este ítem evalúa la producción de peces dada en kilogramos entre la cantidad de horas y cantidad de trabajadores en el sistema de recirculación. Por lo que tenemos la siguiente información:

### Producción máxima en el sistema=8100 Kilogramos de Peces.

Total, de horas de trabajo (días/hombre) = 364/2

Resultado Final= 44.5 kilogramos por trabajador por día.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1.- CONCLUSIONES

- Los sistemas de recirculación son técnica y económicamente viables de ser desarrollados en Perú, en especial en el ámbito de la selva.
- Auto sustento: nuestro país no es ajeno a la crisis alimentaria mundial. Estos sistemas bien podrían servir para alcanzar alimento de primera calidad, fresco y saludable a la población de escasos recursos económicos, por ello urge su implementación por parte de fondos específicos, gubernamentales y no gubernamentales.
- Valor agregado: la rentabilidad de estos sistemas se eleva exponencialmente cuando incorporamos el concepto de empresa. A lo largo del instructivo lo hemos planteado con el ejemplo de un restaurante, pero bien puede ser una pescadería o un minimarket, cerrando así la cadena de valor.
- El pez Paco (*Piaractus Brachypomus*) es una especie que soporta altas densidades de cultivo.
- El tiempo de maduración de la unidad de biofiltración es de 2 meses, teniendo como escenario Madre de Dios esto se debe a que la temperatura media es de 26° y usualmente a mayor temperatura más rápido tiende a madurar la unidad de biofiltración.
- Antes de diseñar y construir el sistema de recirculación es necesario hacer los balances de masas para determinar el flujo correcto y es a partir de ahí que recién se pueden elegir que equipos son los indicados de acuerdo al sistema que desea implementar.
- El diseño y construcción de un sistema de recirculación se vuelve más complejo a mayor densidad de cultivo.
- Los sistemas de recirculación no son rentables económicamente a densidades de 15kg/m<sup>3</sup> con venta directa al mercado, caso similar se puede dar para peces como tilapia donde tiene un precio muy parecido al del paco incluso siendo la tilapia de más bajo precio, sin embargo, a esta densidad con auto-abastecimiento a restaurante si resulta rentable igualmente sucede con la densidad de 30kg/m<sup>3</sup>.
- Implementando estas tecnologías con la diversidad de especies acuícolas que cuenta el Perú podría ser un referente importante de desarrollo de estas tecnologías para la región y empoderar a los medianos empresarios.

## 5.2.- RECOMENDACIONES

- Para el diseño, construcción y manejo de un sistema de recirculación se hace necesario la orientación de un profesional formado en estas materias y no haber asistido solamente a cursos cortos o ferias comerciales.
- Para el diseño, construcción y elección de equipos de un sistema de recirculación, se toma en cuenta muchas variables, por ende, no es lo mismo cultivar Paco en Iquitos que en Pucallpa, por lo que recomendamos establecer bien sus parámetros de cultivo y las condiciones del lugar.
- Es importante formar capital humano profesional en esta temática, por lo que universidades deben considerar incluir esta materia dentro de su plan curricular.
- La tendencia a nivel mundial es la implementación de este tipo de tecnologías por lo que es importante que el gobierno otorgue fondos para la construcción de estos sistemas en todo el país.
- Brindar mayor apoyo al pequeño y mediano empresario para exonerar de impuestos de exportación de los equipos necesarios para poder construir los sistemas de recirculación.

## VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Dirección de Estudios y Derechos Económicos Pesquero y Acuícola - DGP – PRODUCE. 2016
- Estrategia Nacional para el desarrollo sostenible de la acuicultura en el Perú. Proyecto TCP/PER/3101. 2015
- Jones, A.B., Dennison, W.C., and Preston, N.P., (2001), Integrated treatment of shrimp effluent by sedimentation, oyster filtration and macroalgal absorption: a laboratory scale study, *Aquaculture*, 193.
- Kubitza F. Criacao de tilapia em sistema com bioflocos sem renovacao de agua. *Panorama da AQUICULTURA*. Brasil. 2011.
- Libey, G.S. 1993. Evaluation of a drum filter for removal of solids. In J.K. Wang, editor. *Techniques for modern aquaculture*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan.
- Losordo, T.M; J. Rakocy y M. Masser, 1992a. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: component options. Southern Regional Aquaculture Center. Fact Sheet No. 453.
- Losordo, T.M., Masser, M.P. y Rakocy, J.E. 1999. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: A Review of Component Options. Report, Southern Regional Aquaculture Center.
- Masser M. P., J. Rakocy y T. M. Losordo. 1998. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Management of Recirculating Systems. Southern Regional Aquaculture Center Publication. Publication No. 452
- Mayo, R., J. Glude y I. Strand. 1984. A Study of Methodologies for forecasting aquaculture development. *FAO Fish*.
- Rakocy, J.E., Masser, M.P. y Losordo, T.M. 2006. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. Report, Southern Regional Aquaculture Center.
- Stickney, F. 2000. *Encyclopedia of Aquaculture*, John Wiley & Sons, 1008 p
- Timmons M. B., J Ebeling, F. Wheaton, S. Summerfelt y B. Vinci. 2002. *Recirculating Aquaculture Systems*, Northeastern Regional Aquaculture Center, 2nd Edition, USA, 769 p.
- Wang, Jaw-Kai, 2003. Conceptual design of microalgae-based recirculating oyster and shrimp system. *Aquacultural Engineering*. 28, 37-46.
- Wheaton, F., 1977. *Aquaculture Engineering*. John Wiley and Sons, Inc. Printed in U. S. 708 pp.
- Wiesler, F. 1997. Agronomical and physiological aspects of ammonium and nitrate nutrition of plants. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 160.







*Trabajando para  
tod@s los peruan@s*

## **MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN**

Calle Uno Oeste 060 - Urbanización Córpac, San Isidro - Lima

Central Telefónica: 616-2222

 /minproduccion

 @minproduccion

 producegob