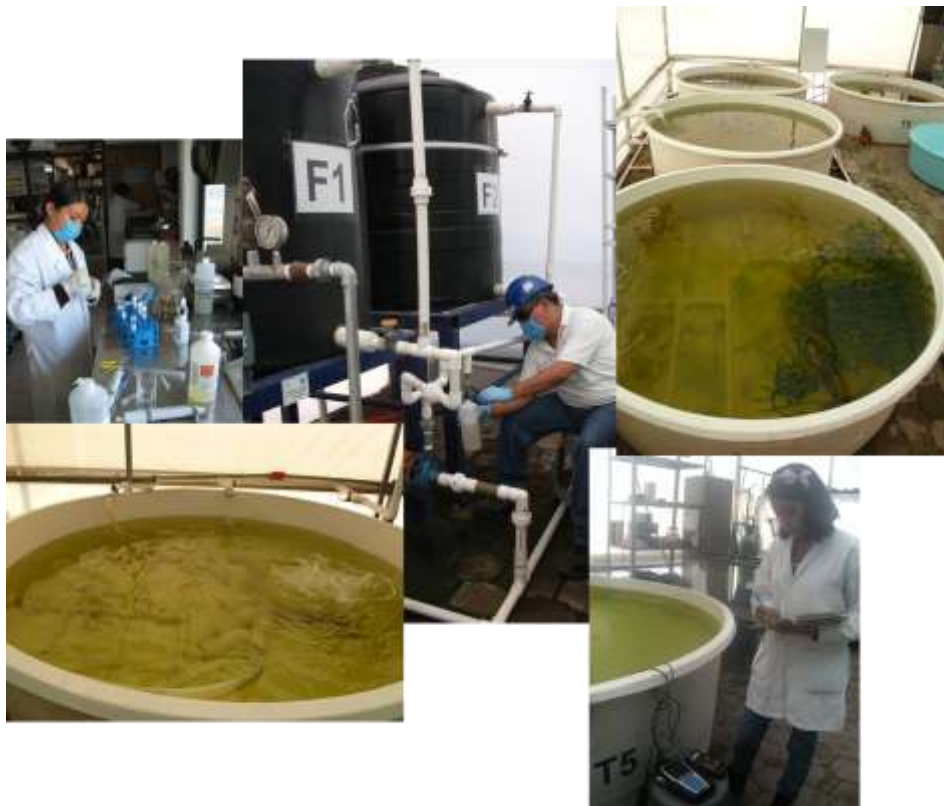


OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA ACUICOLA CON REUSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA Y DESCARGA CERO



TC-1205.1

Jefe de proyecto
M.I. Luciano Sandoval Yoval

Colaborador
Ing. Luís Angel Barrera Morteo

INDICE

1.	ANTECEDENTES	1
1.1	Acuicultura	1
1.1.1	El rol de la acuicultura.....	1
1.1.2	Acuicultura en México.....	9
1.1.3	Acuicultura en Morelos.....	14
1.2	Calidad de agua	19
1.2.1	Normas de calidad de agua.....	20
1.2.2	Parámetros de calidad del agua.....	21
2	JUSTIFICACIÓN	26
3	OBJETIVO.....	27
4	METODOLOGÍA.....	28
5	RESULTADOS.....	29
5.1	Sistema de filtración	29
5.1.1	Descripción	29
5.1.2	Operación.....	33
5.1.3	Mantenimiento.....	40
5.2	Especies de peces en tanques de monitoreo.....	44
5.3	Determinación de parámetros de control del sistema de filtración	45
5.1.4	Parámetros físicos de entrada y salida del filtro.....	46
5.1.5	Parámetros físicos en los tanques de peces.....	47
5.1.6	Parámetros químicos a la entrada y salida del filtro	48
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
6.1	Parámetros de campo	53
6.2	Parámetros químicos	56
6.3	Elaboración de un artículo.....	59
6.4	Impresión del manual de operación y mantenimiento del sistema acuícola	72
6.5	Curso de capacitación.....	74
7.	CONCLUSIONES.....	75
8.	BIBLIOGRAFÍA	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Bolsa plástica	17
Tabla 1.2 Criterios de calidad del agua para acuicultura	20
Tabla 5.1 Parámetros físicos promedios mensuales del agua del filtro	47
Tabla 5.2 Parámetros físicos promedio mensuales del agua de los tanques	48
Tabla 5.3 Parámetros químicos de agua de entrada del filtro	51
Tabla 5.4 Parámetros químicos del agua de la salida del filtro.....	51

INDICE DE FIGURAS

Figura 5.1 Sistema de filtración	30
Figura 5.2 Arreglo del lecho de filtración	31
Figura 5.3 Ramal de distribución de agua en filtro	32
Figura 5.4 Arreglo hidráulico en el filtro	33
Figura 5.5 Distribución de agua en tanques	34
Figura 5.6 Recirculación de agua en tanques	37
Figura 5.7 Drenaje de agua en tanques	39
Figura 5.8 Distribución de aire en tanques	40

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 6.1 Color del agua de entrada y salida del filtro	53
Gráfica 6.2 SST del agua de entrada y salida del filtro.....	54
Gráfica 6.3 Turbiedad del agua de entrada y salida del filtro.....	54
Gráfica 6.4 Comportamiento promedio mensual de pH, OD y temperatura en tanque 155	
Gráfica 6.5 Comportamiento promedio mensual de pH, OD y temperatura en tanque 255	
Gráfica 6.6 Comportamiento promedio mensual de pH, OD y temperatura en tanque 356	
Gráfica 6.7 Nutrientes a la entrada de filtro	57
Gráfica 6.8 Alcalinidad y dureza a la entrada de filtros.....	58
Gráfica 6.9 Nutrientes a la salida de filtro	58
Gráfica 6.10 Alcalinidad y dureza a la salida de filtros	59

INDICE DE FOTOS

Foto 5.1 Ramal de distribución de agua en el interior del filtro	32
Foto 5.2 Distribución de orificios en el ramal	32
Foto 5.3 Ramal de succión de tanques	38
Foto 5.4 Descarga de agua a desagüe	38
Foto 5.5 Acumulación de sólidos sobre el lecho de filtración	41
Foto 5.6 Retiro de sólidos por sifón	41
Foto 5.7 Retiro de la primera capa de material filtrante	42
Foto 5.8 Lavado de material filtrante	42
Foto 5.9 Toma de muestra entrada del filtro	45
Foto 5.10 Toma de muestra salida del filtro	45
Foto 5.11 Preparación de muestra	46
Foto 5.12 Determinación de la turbiedad	46
Foto 5.13 Determinación del color	46
Foto 5.14 Determinación de los SST	46
Foto 5.15 Determinación y registro de parámetros en estanques	47
Foto 5.16 Determinación de dureza	48
Foto 5.17 Determinación de alcalinidad	48
Foto 5.18 Determinación de fósforo total	49
Foto 5.19 Determinación de nitrógeno total	49
Foto 5.20 Determinación de DQO	50
Foto 5.21 Determinación de DBO	50
Foto 5.22 Determinación de amoníaco	50
Foto 6.1 Manual de operación y mantenimiento del sistema	73

1. ANTECEDENTES

1.1 Acuicultura

A continuación se realiza una breve descripción del desarrollo de la acuicultura, la información fue recopilada y adaptada de varias notas periodísticas tomadas de la página <http://www.panoramaacuicola.com>. Esto con la finalidad de poder brindar un panorama internacional hasta estatal de la acuicultura, destacando aspectos del desarrollo, importancia laboral y económica, así como de las actividades que giran entorno a ésta.

1.1.1 El rol de la acuicultura

Noticias del día 26 de enero de 2012

a) Reducción de la pobreza

El informe de Allison tiene como objetivo el identificar como las contribuciones de la pesca y acuicultura a la reducción de la pobreza y la seguridad alimentaria puede ser mejorada.

Malasia: Los roles de la acuicultura y la pesca en reducir la pobreza son muchos, variados e inter-relacionados. Sin embargo, la mayor parte de las investigaciones se han concentrado sólo en la importancia de la pesca como fuente de alimentos o el rol de la acuicultura para proveer ingresos.

The WorldFish Center acaba de publicar un informe titulado: “Aquaculture, Fisheries, Poverty and Food Security” elaborado por Eddie Allison, científico principal de Ciencias Políticas, Económicas y Sociales del The WorldFish Center.

Raramente nosotros encontramos estudios que puedan evaluar todos los aspectos de la pesca, acuicultura y desarrollo juntos y provee recomendaciones para incrementar su contribución” destacó Stephen Hall, Director general de The WorldFish Center.

El estudio fue encargado y financiado por la División de Políticas pesqueras en Trade and Agriculture Directorate de la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OECD) con sede en París -Francia.

El informe de Allison tiene como objetivo el identificar como las contribuciones de la pesca y acuicultura a la reducción de la pobreza y la seguridad alimentaria puede ser mejorada mientras que resuelve la necesidad de una transición sustentable en la pesca, y se mejora la performance ambiental y la justicia distributiva en el rápido crecimiento del sector de la acuicultura.

Después de una revisión del contexto de la política que envuelve a la seguridad alimentaria, el informe de Allison articula las formas de relacionar el sector pesquero con la reducción de la pobreza y la seguridad alimentaria. Se examina:

Implicaciones de la pobreza y la seguridad alimentaria de una re-estructuración de la pesca mundial para mejorar la performance económica del sector, a través de la reducción de capacidad y una gestión basada en derechos.

Las relaciones entre la seguridad alimentaria doméstica y las políticas para incrementar las exportaciones pesqueras provenientes de la pesca y la acuicultura, para contribuir al crecimiento del Producto Bruto Interno.

Los relativos beneficios para la seguridad alimentaria de las políticas que favorecen el desarrollo de la acuicultura a pequeña y gran escala.

El informe recomienda cinco principios para guiar el proceso de reforma política en la pesca y acuicultura para maximizar el desarrollo y los beneficios de la seguridad alimentaria:

Promover la coherencia de las políticas.

- Ajuste las reformas al contexto y prográmelas adecuadamente.
- Invertir el análisis de políticas económicas basadas en la evidencia.
- Promueva la participación de los actores en dialogo sobre los objetivos a reformar.
- Construir sobre lo que ya se viene trabajando.

Referencia:

Allison E. 2011. Aquaculture, Fisheries, Poverty and Food Security. The WorldFish Center. Penang, Malaysia. 60 p.

b) Reutilizan aguas residuales para piscicultura en Brasil
Noticias del día 30 de enero de 2012

El proyecto 'Unidad experimental para la reutilización de aguas domésticas en lagunas de estabilización aplicada a la piscicultura' es dirigido por el ingeniero Cleto Augusto Baratta Monteiro, profesor del Departamento de Recursos Hídricos del Curso de Ingeniería Civil de la UFPI.

Este tipo de experiencia científica ya fue probada en otros estados del país, como Ceará y Santa Catarina, y también en otros países, como es el caso de Perú.

Pero Baratta Monteiro hace hincapié en que es la primera vez que se lleva a cabo una iniciativa de este tipo en una región semiárida.

Según los resultados obtenidos -llamados bioindicadores-, las aguas residuales tratadas se encuentran dentro de los patrones internacionales, teniendo en cuenta los análisis efectuados en el pelo, músculo y branquias de los peces.

Además, se hicieron análisis microbiológicos para detectar la existencia de salmonela, coliformes y estafilococos.

La unidad experimental funciona en la Estación de Tratamiento de Aguas Residuales de Agespisa, ubicada en la zona este de Teresina, capital del estado de Piauí (nordeste de Brasil).

En el proyecto se utilizan alevines de tilapia del Nilo proporcionados por el Departamento Nacional de Obras Contra la Sequía (Dnocs), los cuales son criados en 18 estanques.

La investigación comenzó en diciembre de 2009 y ya se desarrolla la tercera etapa.

c) Más respaldo financiero para proyectos acuícolas innovadores en Canadá
Noticias del día 26 de enero de 2012

La ministra regional para Isla Príncipe Eduardo, Gail Shea, y el ministro de Pesca y Océanos (DFO), Keith Ashfield, anunciaron que el Gobierno de Canadá invertirá cerca de CAD 970.000 (USD 959.731) para respaldar tres proyectos acuícolas innovadores en Isla Príncipe Eduardo. En representación del gobierno provincial participó el ministro de Acuicultura y Desarrollo Rural, Ron MacKinley.

“Nuestro Gobierno se compromete a impulsar la economía canadiense -dijo el ministro Ashfield-. La innovación en acuicultura ayudará a generar puestos de trabajo, especialmente en las áreas rurales.”

“La industria acuícola de Isla Príncipe Eduardo ofrece muchos beneficios económicos y una variedad de opciones profesionales para la gente que vive en las comunidades costeras y rurales”, aseveró la ministra Shea.

Tras destacar que “la acuicultura es una parte muy importante de la pesca en Isla Príncipe Eduardo”, el ministro MacKinley dijo que “la provincia se complace con asociarse con el Gobierno federal y la industria para invertir en tecnologías de procesamiento innovadoras y respaldar los esfuerzos de certificación”.

Tres proyectos de la región del golfo recibieron un aporte de financiero de CAD 968.873 (USD 958.616) a través del Gobierno federal:

PEI Mussel King Inc recibió CAD 450.000 (USD 445.236) adicionales para su proyecto para desarrollar equipamiento nuevo y de avanzada para el procesamiento de mejillones. La expansión de la planta, con la adopción de sistemas nuevos de procesamiento y manipulación, colocará a Mussel King en una posición ventajosa para abastecer nuevos mercados emergentes con productos especiales de calidad y con valor agregado. El Gobierno de Canadá, a través de la Agencia de Oportunidades del Atlántico Canadiense, anunció recientemente una inversión de CAD 1 millones (USD 989.413) para este proyecto. El Gobierno provincial había entregado antes un subsidio de CAD 4,8 millones (USD 4,77 millones) para el proyecto.

Confederation Cove Mussel Co Ltd recibió CAD 505.773 (USD 55.419) para un proyecto para desarrollar y mejorar el proceso de selección en las plantas mejilloneras canadienses. La precisión en el proceso de selección es un elemento muy importante en términos de calidad y sanidad. Esta tecnología innovadora funcionará para la industria mejillonera como un catalizador para introducir un tipo de tecnología de punta que mejorará radicalmente el desempeño. Una contribución provincial de CAD 42.25 (USD 41.778) de la Iniciativa de Investigación en Pesca y Acuicultura de Isla Príncipe Eduardo respalda el desarrollo y las pruebas de esta tecnología para la selección.

PEI Aquaculture Alliance recibió CAD 13.100 (USD 12.961) para permitir la Certificación de la Industria Acuícola. El Ministerio de Pesca, Acuicultura y Desarrollo Rural aportó CAD 3.300 (USD 3.265) para el proyecto.

Además del financiamiento que anuncia hoy el Gobierno canadiense, se destinaron CAD 18,8 millones (USD 18,6 millones) en fondos AIMAP para todo Canadá durante los últimos cuatro años. Se financiaron proyectos acuícolas innovadores y proyectos para acceso a los mercados que contribuyen al crecimiento sustentable de la industria a través de la producción sustentable, el aumento de la diversificación y/o la tecnología ecológica.

d) Publican guía para la gestión sanitaria en la acuicultura en España
Noticias del día 30 de enero de 2012

El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, y la Junta Nacional Asesora de Cultivos Marinos (JACUMAR) acaban de publicar la “Guía para la Gestión Sanitaria en Acuicultura”.

La guía, que ha sido elaborada por C.J. Rodgers y M.D. Furones, tiene como finalidad convertirse en una herramienta para aportar información y compartir conocimientos sobre las enfermedades de mayor envergadura en peces y moluscos, para facilitar su gestión sanitaria dentro del ámbito de la acuicultura española.

La guía está dividida en:

- Marco legal vigente y sus responsables sobre sanidad de los animales de la acuicultura.
- Enfermedades relevantes para la acuicultura española.
- Técnicas de diagnóstico para las enfermedades relevantes.
- Epizootiología y medidas de prevención y control.
- Calibración de pruebas interlaboratorios
- Especies de producción susceptibles y vectores
- Medidas de prevención, control y erradicación
- Programa de vigilancia
- Consideración de trazabilidad
- Fuentes de formación y centros de investigación/diagnóstico

De acuerdo con los autores la guía está dirigida tanto a las enfermedades de declaración obligatoria, como a las enfermedades relevantes para la acuicultura marina española.

e) Re-circulante Aquaculture Systems

Noticias del día 26 de julio de 2012

Las tecnologías innovadoras en el cultivo de tilapia

Trinidad y Tobago: Un artículo anterior por el Instituto de Asuntos Marinos (IMA) presentó un panorama general de la acuicultura en Trinidad y Tobago y los desafíos que enfrenta esta industria. Hoy en día contamos con nuevas tecnologías utilizadas en el IMA para más sostenibles y rentables empresas de acuicultura.

La acuicultura como un sector vibrante y rentable se encuentra todavía en la etapa de desarrollo a nivel local. La cultura alimentaria pescado es limitada y su potencial económico todavía no realizada, en parte debido a la adherencia a los tradicionales sistemas basados en estanque con su gran cantidad de problemas ambientales y de seguridad.

La demanda local e internacional de pescado y productos de pescado, junto con la reducción de los recursos, así como la necesidad de diversificar la economía local, exigen un enfoque más innovador a la acuicultura para lograr la rentabilidad como empresa comercial.

El IMA realizó una investigación en tecnologías de cultivo de peces de agua dulce de alimentos, como la tilapia y cascadura y ahora está planeando para especies de maricultura como un medio de la vía rápida al desarrollo de la acuicultura local.

Recirculación acuícola Systems (RAS) es un campo de rápido crecimiento, tanto en términos de investigación y para actividades comerciales. Las ventajas de un estanque RAS más de los sistemas basados en este sistema son que se puede usar donde la tierra es limitada en agua, escasa o cuando las condiciones ambientales no son

adecuadas para las especies cultivadas. Sin embargo, debido a sus densidades enfoque más intenso de alta carga animal y muy controlado las condiciones ambientales, los riesgos son mayores y hay costos asociados con adecuados sistemas de respaldo.

El RAS es esencialmente un sistema de producción cerrado que re-utiliza más de 85 por ciento de su agua para la producción continua y que se pueden incorporar en otros sistemas de producción agrícola, como acuaponía.

En 2009, el Instituto se unió a la Compañía de Mariscos Desarrollo de la Industria (SIDC) para implementar un proyecto piloto de la RAS para la producción intensiva de tilapia fresca agua adaptado a las condiciones locales. Importado YY o super tilapia macho de Swansea, Reino Unido se cruzaron con Swansea rojo, plata y IMA criados en hembras híbridas rojos para producir la descendencia utilizada en el sistema de producción. La tilapia genéticamente masculino, *Oreochromis niloticus*, y tilapias rojas híbridos fueron utilizados para demostrar la viabilidad técnica y económica de la producción comercial, con el fin de estimular a los empresarios e inversores. Un manual, informes técnicos y una planta de demostración para los usuarios de la industria fueron las otras salidas previstas del proyecto piloto.

Todos los procesos de tratamiento implicado en un RAS, así como su gestión, no son exclusivos de la acuicultura, pero están estrechamente relacionados con los sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados para una variedad de aplicaciones domésticas como industriales. El diseño general de este sistema permite la flexibilidad y la facilidad de manejo y requiere de insumos mínimos de mano de obra, excepto en los momentos de toma de muestras y la cosecha.

Los componentes básicos de un RAS son los tanques de cultivo, filtros mecánicos para la remoción de sólidos, filtros biológicos para la descomposición y la eliminación de los residuos de excreción, aeración y recirculación del agua. Además, la eliminación de gas de dióxido de carbono y amoníaco, bombeo y dispositivos de desinfección tales como filtros ultravioletas, generadores de ozono y el fraccionamiento de espuma para las bacterias y la remoción de sólidos se consideran otros.

El RAS tilapia, situado en la IMA instalaciones en Chaguaramas, consiste en una cubierta de sombra casa de aproximadamente 740 m² con diez 30.000 litros tanques de producción circulares y otros tanques que sirven como sumideros para el tratamiento de agua y recirculación. Además, hay dos filtros mecánicos para la eliminación de sólidos, así como ocho 3,000 litros de lecho móvil biofiltros para la nitrificación. Una sala de control seguro de las bombas, sopladores de casa, temporizador de alimentación, sistema de alarma y datos de registrador se construyó a partir de un contenedor de transporte 6,09 m (20 pies), mientras que otro fue retro-equipado para el almacenamiento de alimentos.

En la fase piloto del proyecto, los peces fueron alimentados con una ración completa de 42-35 por ciento de proteínas importado crudo durante un ciclo de producción de 180 días. Tamaño del mercado de pescado fueron purgados con agua de pozo limpia por un mínimo de 24 horas antes de la cosecha final. Aproximadamente 5.564 kg (12.255 libras) de pescado cosechado fueron distribuidos por el SIDC a mayoristas, minoristas, procesadores y otros usuarios finales en 2010 y 4.967 kg (10.941 libras) en 2011. Hasta mayo de este año, la producción fue de aproximadamente 16.782 kilogramos (36.694 libras).

Re-circulante instalaciones acuícolas están totalmente contenida y pueden estar situados en zonas rurales o urbanas y en la mayoría de los almacenes. La selección del sitio no está dictada por la proximidad de una fuente natural de agua, sino más bien por la oportunidad de negocio. El RAS puede ser modificado para acomodar las especies para el mercado objetivo y las condiciones ambientales pueden ser supervisadas y controladas para adaptarse a los requisitos de la especie de interés.

RAS tienen "credenciales verdes" fuertes. Los productos son promovidos como sostenible porque, como sistemas cerrados, el agua poco abstracta de los cuerpos de agua naturales y producen un mínimo de las descargas de efluentes, reduciendo así los impactos potenciales de patógenos y la liberación de los peces en los cursos de agua naturales. Allí también se mejora la bio-seguridad que reduce el riesgo de brotes de enfermedades y elimina las pérdidas de los depredadores. La investigación continúa en el IMA en recirculación sistemas de acuicultura para la producción de peces marinos comerciales como cobias, pargos y meros.

Paul Gabbadon, Oficial Senior de Investigación de Pesca y Acuicultura Programa de Investigación. El IMA es una agencia del Ministerio de Asuntos de Vivienda, Tierras y Marino.

Fuente: [Trinidadexpress.com](http://www.trinidadexpress.com)

http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2012/07/26/recirculating_aquaculture_systems.html

f) Apostar por la Acuicultura a pequeña escala
Noticias del día 31 de agosto de 2012

En el estudio se habla de no solo la intención de promover los cultivos de moluscos o algas, sino que, además, es necesario realizar un trabajo de largo plazo para ver las capacidades y brechas que tiene cada territorio para desarrollar la acuicultura. Es decir, es necesario generar un cambio de pensamiento hacia el cultivo, lo que sería un símil de lo que es en tierra la agricultura, postulan los investigadores.

Chile: Mientras otros países en Latinoamérica comienzan recién a impulsar el desarrollo acuícola, Chile se ubica en un lugar privilegiado entre los "top ten" según el

ranking mundial de FAO, rodeado de naciones asiáticas con una tradición milenaria de cultivos en agua dulce y mar. Una acuicultura cuya característica principal es el desarrollo de proyectos de pequeña escala o de autoabastecimiento.

El salmón, la trucha o el mejillón forman parte de la oferta exportadora que se suma a productos tan característicos de Chile como el vino, las frutas o el cobre.

En Rusia -un mercado exigente- el mejillón chileno duplicó su presencia en solo dos años, desplazando al molusco chino, con una campaña promocional motivada desde el sector privado y apoyada por Prochile con su programa de marcas sectoriales, que invita a degustar los mejillones de la Patagonia, mientras que en Brasil, los cariocas, especialmente la colonia japonesa de Sao Paulo, degustan el salmón chileno en sus mesas, privilegiándolo por sobre el salmón noruego, escocés o canadiense.

Pero no queremos quedarnos solo allí. Tenemos una marca de calidad de los productos del mar que es reconocida en más de cien mercados diferentes, sin embargo desde el Gobierno estamos convencidos de que podemos apostar por más.

Queremos que la acuicultura no sea sólo sinónimo de salmonicultura, sino más bien una oportunidad de emprendimiento que sume a más actores, con el desarrollo de negocios a pequeña y mediana escala y entre ellos, por supuesto, incorporar a los pescadores artesanales.

En este contexto, leí con interés los resultados del estudio elaborado por el Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP), que dio a conocer una priorización de ideas de proyectos relacionados con pesca artesanal en la Región de Aysén.

Entre las prioridades del trabajo, elaborado por investigadores de la Universidad Austral de Chile y la Universidad de Concepción, se propone el generar una cultura de acuicultura entre los pescadores artesanales de Aysén.

Los expertos realizaron un levantamiento de información sobre el estado y brechas en el estado del conocimiento de las pesquerías, analizando la información existente de las diferentes pesquerías de la región (ejemplo: merluza austral, congrio, loco, sardina austral) y abarcando los componentes sociales, ambientales y económicos.

En el estudio se habla de no solo la intención de promover los cultivos de moluscos o algas, sino que, además, es necesario realizar un trabajo de largo plazo para ver las capacidades y brechas que tiene cada territorio para desarrollar la acuicultura. Es decir, es necesario generar un cambio de pensamiento hacia el cultivo, lo que sería un símil de lo que es en tierra la agricultura, postulan los investigadores.

Y esa es justamente el tipo de iniciativas que el Instituto de Desarrollo de la Pesca Artesanal y de Acuicultura de Pequeña Escala (IDEPA) quiere apoyar, al fomentar nuevas áreas de negocios para los hombres y mujeres que viven del mar.

Fuente: Diarioaysen.cl

http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2012/08/31/apostar_por_la_acuicultura_a_pequena_escal.html

1.1.2 Acuicultura en México

La acuicultura en México genera más del 16% de la producción pesquera nacional, lo que significa el crecimiento más dinámico del sector con una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 2.6 %. Esta manifiesta el mayor crecimiento en comparación con cualquier otro sector de la producción de alimentos de origen animal, pues la pesca de captura ha aumentado a razón de 1.2 por ciento y los sistemas de producción de carne de cría en tierra, 2.8 por ciento.

La Conapesca destacó que la acuicultura, tiene el potencial de garantizar la seguridad alimentaría mundial, además de que genera empleos y divisas, es la industria alimentaría con la tasa más alta de crecimiento en los últimos 10 años, lo que contribuye a solventar la demanda que ya no puede cubrir la pesca tradicional.

La Conapesca detalló que el 78% de la producción acuícola se concentra en Sonora, Sinaloa, Veracruz, Tabasco, Jalisco, México y Nayarit, sin embargo se ha identificado un gran número de unidades de producción acuícola en Michoacán, Guerrero, Yucatán, Guanajuato, Hidalgo, **Morelos** y Puebla. Así, en el aspecto alimentario, esta actividad ha incrementado la disponibilidad de adquirir pescado fresco y aún vivo en los estados sin litoral, con especies como carpa, trucha, bagre y tilapia, principalmente.

Además la acuicultura ha fomentado la creación de empleos directos e indirectos pues mientras que en el año 2000 eran de 18 mil 270 empleos, para 2009 la cifra se incrementó a 30 mil 272, lo que se representa una TMCA de 5.18%.

Además en el año 2000 se tenían mil 898 granjas acuícolas formadas por 31 mil 460 hectáreas destinadas a la producción pesquera, y para 2009 se tenían tres mil 12 granjas formadas por 76 mil 527 hectáreas.

Fuente: oem.com.mx/elsoldecuautila

http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2011/03/24/capacitan_a_productores_de_peces_de_la_zona_sur_de_morelos.html

(Consulta 20/07/2011)

Ahora bien, el desarrollo de la acuicultura no tiene bien definidas aun sus condiciones de sustentabilidad, debido principalmente a factores como bajos niveles de

bioseguridad en sus productos, falta de personal debidamente capacitado, instalaciones inapropiadas y la ausencia de técnicas adecuadas para el cultivo, así como desarrollo y comercialización de las especies. Estos factores son las causas principales de que la producción y comercialización de peces no alcance definitivamente los niveles deseados por los productores.

Es necesario impulsar la modernización de la planta productiva y los procesos de comercialización de peces de ornato de agua dulce, con el propósito de incrementar la producción nacional y propiciar la sustitución de importación de especies, lo cual generará mayor actividad en el mercado interno y creación de empleos.

El aumento y mejoramiento de la calidad en la producción nacional de peces de ornato de agua dulce, permitirá que los productores incursionen en mercados de exportación y en este sentido, México tiene la oportunidad de convertirse en uno de los principales proveedores de peces de ornato en Estados Unidos, uno de los mercados más importantes de este tipo de productos en el mundo.

Actualmente se comercializan cada año 43 millones de peces de ornato, de los cuales el 52 por ciento se producen en más de 250 granjas que se encuentran establecidas en 20 entidades de la República (entre las cuales Morelos es uno de los principales productores), mientras que el 48 por ciento se importa principalmente de Asia, a través de Estados Unidos y Sudamérica.

Fuente: Notimex

http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2011/03/22/la_acuicultura_el_sector_con_mas_crecimiento_en_la_produccion_pesquera_en_mexico.html (Consulta 20/07/2011)

Con una producción de 240 toneladas de tilapia al año (rendimientos de 40 kilos por metro cúbico) y un mercado de distribución en Centros Comerciales y Mercado de la Viga, la Granja "Reencuentro" se coloca como la primera en su tipo a nivel nacional, al desarrollar sistemas de módulos intensivos y un manejo innovador de infraestructura acuícola.

La granja, ubicada en Costa Rica, municipio de Culiacán, Sinaloa, a la fecha maneja seis estanques de 330 metros cúbicos cada uno, infraestructura con la que cada ocho semanas se siembran de 80 mil a 100 mil alevines, lo que permite producir de manera industrial y comercializar el producto con Walmart, Mercado de la Viga y, próximamente, en la empresa Lake.

Este complejo, que seis años atrás era de actividad ganadera, cambió de giro motivados sus dueños por contribuir a la producción de proteína sana y accesible, dados los altos índices de obesidad en la población del país, principalmente en la infantil.

El productor y representante de la empresa, Marco Antonio Peña Villa, aseguró que la acuicultura en la entidad está adquiriendo una gran aceptación, en respuesta a la demanda en los mercados nacional e internacional y por ser una opción nutricional de proteínas a bajo precio para los consumidores.

La meta, indicó, es llegar a los 120 kilogramos por metro cúbico, que se traducirían en alrededor de 720 toneladas al año -con ejemplares de 470 gramos. En el futuro, prevén la construcción de tres módulos de 48 estanques de 330 metros cúbicos cada uno, con lo que se alcanzaría a cubrir parte del mercado nacional y exportaciones a los Estados Unidos, cuya demanda es de un millón de libras de filete mensual.

Señaló que en México se tienen todos los recursos para producir tilapia, en especial en Sinaloa con su litoral y agua en sus 11 ríos, lo que detonaría el desarrollo de esta actividad acuícola en la entidad de manera intensiva e industrializada.

Detalló que aparte de la producción de tilapia, están los subproductos derivados del aprovechamiento para producir abono orgánico; las vísceras, por ejemplo, se colocan en lombrizarios para producir humus.

En materia de sustentabilidad, explicó que está programada la operación de una laguna integradora, con un equipo para fabricar biodiesel que sería utilizado en las plantas de la granja, mientras que otra parte se utilizaría para crear harina de pescado para alimento de otras especies acuícolas.

Fuente: El Sol de Sinaloa

http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2012/03/29/granja_de_costa_rica_es_la_primera_en_produccion_de_tilapia_en_mexico.html

Tan solo la producción de trucha una de las cinco especies que se desarrolla en aguas interiores de la entidad, genera más de mil quinientos empleos directos, aporta ingresos anuales superiores a los 4.5 millones de pesos y permite una derrama económica de 835 millones al año.

Así lo constataron, el Secretario de Desarrollo Rural, Pedro Adalberto González Hernández y el delegado de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), Federico González Magaña, quienes realizaron una gira de trabajo por la comunidad de Teopancingo, enclavada en la sierra norte del estado de Puebla.

Durante una reunión de trabajo con los integrantes del sistema producto trucha se informó que el estado de Puebla ocupa el segundo lugar nacional en producción de trucha arco iris con una aportación al mercado de mil 200 toneladas por año, a través de 308 granjas que se localizan en las regiones de Libres, Huachinango, Teziutlán, Zacatlán, Cholula y Tecamachalco.

Los acuicultores encabezados por Efrén Vega representante no gubernamental del Sistema Producto Trucha destacaron que las granjas que operan en Teopancingo cuentan con el reconocimiento: “Buenas Prácticas de Producción Acuícola”, título que otorga el Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) del gobierno federal.

Este logro en materia de sanidad permite que la producción de trucha de esta zona (350 toneladas por año) se comercialice en los mercados del Distrito Federal, Estado de México, Oaxaca, Morelos, Veracruz, Hidalgo y Tlaxcala, así como en la industria gastronómica de la región.

Ambos funcionarios estatal y federal fueron enterados de que el desarrollo de la acuicultura en la zona permite recuperar las zonas arboladas las que habían sido sometidas a un intenso proceso de deforestación como producto de la tala clandestina. Estas acciones de reforestación y de aprovechamiento ordenado del bosque propician que los mantos acuíferos registren una importante recarga, fenómeno que se muestra en la mayor disponibilidad de agua en los arroyos, cascadas y riachuelos de la región.

Los productores de trucha explicaron que con estas prácticas de sustentabilidad se ha incrementado también el turismo rural, el cual se complementa con los restaurantes que ofrecen una diversidad de platillos a base de trucha arcoíris.

Durante la reunión de trabajo, Pedro Adalberto González Hernández y Federico González Magaña hicieron el compromiso de unir esfuerzos para que se agilice el otorgamiento de las manifestaciones de impacto ambiental, de forma tal que los acuicultores trabajen en la legalidad y cumplan con la normatividad que su actividad les exige.

Acompañaron en esta gira de trabajo la subdelegada de pesca de la SAGARPA Ing. Araceli Lastra Guarneros y el Subsecretario de Ganadería y Acuicultura de la SDR, Ing. Hugo Barragán Salín.

Fuente: Pueblanoticias.com.mx

http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2012/05/28/impulsa_gobierno_de_puebla_a_actividad_acuicola.html

150 mil post-larvas de langostino entregó la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (Sedagro) a productores acuícolas de 17 unidades de producción en nuevos municipios en el Estado Morelos, que representarán en un lapso de seis meses una producción de 4.2 toneladas de langostino para venderse a público a un precio de 180 a 200 pesos el kilo; entrega que encabezó el Director de Ganadería de la Sedagro, Manuel Licea Resendiz, en el estanque el Potrero del poblado de El Hospital, en Cuautla.

El entrevistado dijo que las post-larvas de langostino llegaron de la granja "José María Morelos y Pavón" que el estado tiene ubicada en el municipio de Coyuca de Benítez, en

la localidad del Carrizal, en el estado de Guerrero, siendo entregados tan sólo en el estanque del potrero del poblado del Hospital nueve mil de estas crías.

"Esta Granja, ubicada en el estado de Guerrero, tiene una capacidad de tres millones de post-larvas al año, cantidad que se ha obtenido gracias a los trabajos que se han realizados, en las instalaciones recién rehabilitadas y donde se continúa creando infraestructura, ya que anteriormente tan sólo su cabida era de un millón de estas", refirió.

Agregando que en esta ocasión se entregaron 150 mil larvas a productores acuícolas de 17 unidades de producción en nuevos municipios en el Estado Morelos, los cuales acudieron al estanque del poblado de El Hospital, donde el Director de Ganadería, Licea Resendiz hizo la entrega de ellas, mientras que en el lugar sede se depositaron nueve mil en uno de los estanques donde se tiene tilapia.

"Se han tenido muy buenos resultados en la producción de langostino, de hecho los productores están muy interesados al ser una actividad que ha ido creciendo, con la idea de que en un lapso de un año o más las grajas estén al 100 por ciento, al considerarse también como un policultivo", refirió.

Sostuvo que con ello se pretende que Morelos siga estando entre los primeros productores de pez-carne en la región centro de México con la producción de langostino, camarón y otras especies; a sabiendas que actualmente se cuenta con 400 granjas en el estado de las cuales 110 se dedican a la producción de carne y el resto a peces de ornato beneficiando a un promedio de 500 familias.

Fuente: Oem.com.mx/elsoldecuautla

http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2012/07/30/apoya_la_sedagro_a_productores_acuicolas_en_morelos_.html

Aportará acuicultura una mayor cantidad de alimentos en el futuro
Noticias del día 30 de julio de 2012

En el futuro la acuicultura será la industria que más recursos aporte a la producción de alimentos de origen marino y acuático, señaló el director general del Instituto Nacional de Pesca (Inapesca), Raúl Adán Romo Trujillo.

El funcionario destacó que en 2011 la acuicultura aportó al sector alimentario más de 263 mil toneladas de productos, los cuales generaron más de nueve mil centros que operan en el territorio nacional.

Las especies de mayor producción fueron el camarón y la tilapia, que en conjunto sumaron 180 mil 950 toneladas, y comentó que el volumen restante fue de carpa, trucha, atún, bagre y ostión, entre otros productos de gran demanda.

Al participar en el Foro Nacional de Innovación y Comercialización del Sector Agroalimentario, organizado por la Coordinadora Nacional de las Fundaciones Produce, destacó que las actividades pesqueras y acuícola representan una oportunidad para los inversionistas.

Refirió que en años recientes el gobierno federal ha brindado apoyo para la consolidación de unidades pesqueras y acuícolas, haciéndolas más competitivas y productivas, pues generaron productos con valor agregado, atractivos para los mercados nacional e internacional.

Resaltó que, a su vez, la maricultura ha recibido fuerte impulso mediante la adaptación de tecnologías para la producción de especies marinas de interés comercial como la totoaba, cobia, pámpano, ostión, pargo, jurel, almeja generosa y pepino de mar.

El titular del Inapesca señaló que la administración federal ha brindado apoyo a estos sectores productivos mediante desarrollo tecnológico, vinculación con empresas e instituciones de investigación, promociones de inversión y aplicación de un marco regulatorio que da certeza jurídica a sus operaciones.

Precisó que el instituto que encabeza fomenta el mejor manejo, la reproducción, el aprovechamiento y el mejoramiento genético de las especies mediante el establecimiento y mantenimiento de centros de desarrollo integral de reproducción.

Al hablar de la posición de México en América Latina como país productor de alimentos de origen marino y acuícola, resaltó que el país se encuentra entre las cuatro naciones que aportan 61 por ciento de productos junto con Chile, Ecuador y Brasil.

En este contexto, enfatizó que el Instituto Nacional de Pesca contribuye también en la generación de instrumentos de política pública para la regulación y administración de la actividad acuícola, lo que ha permitido mantener la disponibilidad de los recursos marinos y acuáticos.

Fuente: Notimex

http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2012/07/30/aportara_acuicultura_una_mayor_cantidad_de_alimentos_en_el_futuro.html

1.1.3 Acuicultura en Morelos

La producción de peces de ornato se ha convertido en una de las actividades rurales más distintivas de Morelos, posicionando al estado a nivel nacional e internacional. Morelos es el estado número uno en la producción de peces de ornato a nivel nacional, mientras que a nivel internacional se ha colocado como uno de los mejores en producción de peces de calidad e inigualable color.

Morelos cuenta con las condiciones climáticas idóneas para el desarrollo de la acuicultura, logrando de esta manera grandes volúmenes de producción. Aunado a esto, la experiencia y tecnología con la que cuentan los productores les ha dado fama a nivel nacional de productores de organismos de muy alta calidad, resistencia y belleza.

En cuanto a la diversidad, se producen más de 62 diferentes variedades de peces en el estado, logrando así satisfacer las necesidades de los mercados más exigentes. Así mismo, Morelos se convierte en una excelente opción para grandes compradores nacionales e internacionales que encuentran todo lo que buscan en un solo lugar.

La producción acuícola se localiza en siete municipios del Estado. Esta producción se acopia en centros estratégicos para su oferta, facilitando de esta manera la venta. Cada centro de acopio cuenta con todas las condiciones necesarias para el buen manejo y presentación de los peces. Es así como Morelos se coloca como el Estado mejor preparado para la producción y comercialización de peces de ornato en Latinoamérica.

a) Variedades

En Morelos se produce una extensa variedad de peces de ornato, colocándolo como el productor número uno nivel nacional y uno de los primeros a nivel internacional. Se producen más de 62 variedades en distintas presentaciones para su venta. Dentro de las variedades o especies más representativas se encuentran:

- Japonés
- Guppys
- Ángel
- Molly
- Platy
- Barbo concochorio
- Cebra dorada
- Tetras en más de 6 presentaciones
- Cíclidos en más de 8 presentaciones
- Plecostomus
- Carpa Koi

Estas son tan sólo algunas variedades que se producen en Morelos, sin embargo, gracias a los recursos naturales y facilidades con las que cuenta el Estado, también es posible producir muchas otras especies que satisfagan las necesidades del mercado.

b) Calidad

Los estándares de producción del Estado de Morelos satisfacen las exigencias del cliente en cuanto tamaño, color, resistencia. La calidad de los peces de ornato producidos en Morelos cumple con las especificaciones de los mercados más estrictos

gracias al excelente cuidado y perfecto seguimiento que se les da a lo largo de su desarrollo.

Los puntos de control de calidad más relevantes en el proceso de producción de los peces morelenses son los siguientes:

- Utilización de filtros naturales y sintéticos.
- Monitoreo constante de las granjas en las que se hacen análisis visuales y científicos sobre la calidad del agua y el estado de los peces.
- Vigilancia y supervisión del Comité de Sanidad de Peces de Ornato.
- Evaluaciones periódicas de los diferentes productores.
- Análisis de muestras de peces.
- Constante cambio o renovación de reproductores.
- Tinas de membrana y estanques de concreto que permitan mayor higiene y desarrollo de los peces.
- Salas de crías especializadas para la creación de nuevas especies.

En el centro de acopio también se consideran aspectos referentes a la calidad, lo que garantiza que los peces se mantendrán en óptimas condiciones a pesar de no estar en su hábitat natural. El centro de acopio cuenta con la tecnología más moderna en cuidado y mantenimiento de peces. Estos son algunos de los aspectos a resaltar en cuanto a los cuidados al pez en el centro de acopio:

- Sistemas de osmosis inversa y filtros ultravioleta.
- Sistemas de riego y filtración que ayudan a la oxigenación del agua.
- Análisis constantes del agua y de muestras de peces.
- Monitoreo visual constante del progreso de los peces.

c) Selección del Pez

El manejo de los peces es manual. Por esta razón la selección es realizada personalmente por experto en producción y manejo, asegurando así que los peces que se ofrecen cumplan con los estándares más altos de calidad.

La selección de los peces se divide en tres fases: primeramente se realiza una selección por parte de los productores de los organismos que irán al centro de acopio; posteriormente se realiza una revisión por el personal que recibe los peces en el centro de acopio y finalmente; se hace otra revisión al momento del empaque de los peces.

A continuación se describen los puntos clave que se revisan para la selección de los peces:

- Estética del pez
- Salud del pez
- Tamaño del pez

d) Producción

Dada la naturaleza y magníficas condiciones climáticas y geográficas de Morelos, la producción de peces de ornato puede ser realizada durante todo el año, manteniendo una producción siempre constante.

Morelos produce más del 70% de la oferta nacional, logrando alcanzar más de 2 millones de peces mensuales. Esta producción se gesta en las más de 80 hectáreas que se tienen destinadas para esta actividad. Los principales municipios productores son: Ayala, Tlaltizapan, Jojutla, Zacatepec y Cuautla.

Logrando una producción anual de alrededor de 20 millones de peces, tomando en cuenta como temporada alta de producción los meses de marzo a septiembre y la baja de octubre a febrero.

Los volúmenes de producción son considerablemente altos a lo largo del año, pudiendo variar un poco a la baja en las temporadas en las que las temperaturas descienden. Sin embargo, dado que la temperatura en el Estado de Morelos no varía mucho a lo largo del año, los cambios en la producción por arriba del promedio.

En Morelos se cuenta con tres tipos de cultivo de pez de ornato:

- Semi extensivo.
- Semi intensivo.
- Intensivo.

e) Empaque

El empaque de los peces se adecua a las necesidades de transporte de los mismos, cuidando su integridad en todo momento. Por esta razón se utiliza un empaque que garantiza la oxigenación del agua y protege a los peces independientemente del número que vengan contenidos en el.

El empaque habitualmente utilizado consiste en bolsas plásticas de polietileno, las cuales varían en su grosor según el tamaño, peso y características del pez. Las bolsas plásticas se colocan dentro de cajas térmicas, manteniendo la temperatura del agua en condiciones óptimas. En la Tabla 1.1 se muestran las características de la bolsa que comúnmente se utiliza, así como la cantidad de agua y oxígeno que debe contener la bolsa y el período de tiempo óptimo que el pez puede estar en la misma.

Tabla 1.1 Bolsa plástica

Largo	Ancho	Porcentaje de agua	Porcentaje de oxígeno	Tiempo de transporte
80 a 90 cm.	55 a 60 cm	20%	80%	72 h

f) Embarque

El embarque de los peces se realiza de acuerdo a tres factores principales: la distancia que se va a recorrer, las dimensiones de la carga y las características del pez. Con base en estos tres factores se determinan las medidas precautorias que se deben tener para que los organismos no sufran estrés ni cambios drásticos de temperatura que afecten o pongan su vida en riesgo.

Temperatura: Está regulada, por lo que se utilizan transportes que cuenten con aire acondicionado para poder controlarla.

Condiciones generales: El transporte utilizado cumple con las condiciones optimas para un traslado vía terrestre o aérea.

g) Precio

El precio del producto es variable a lo largo del año. Sin embargo; el Gobierno del Estado de Morelos, en conjunto con los productores, ofrecen dos alternativas de venta:

- Negociación semanal.
- Contrato anual a precio fijo.
-

<http://morelostierragenerosa.jimdo.com/productos/ganaderos/pez-de-ornato/>

Realizan en la UAEM curso para productores acuícolas

Con la asistencia de especialistas profesionales de varios estados de la república, la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y el Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos (CESAEM) inauguraron el curso “Reconocimiento de terceros especialistas como coadyuvantes en la evaluación de sistemas de reducción de riesgos de contaminación en la producción y procesamiento primario de alimentos de origen acuícola”.

Este curso que concluye hoy, tiene por objetivo reconocer a especialistas en la evaluación de sistemas que reduzcan riesgos de contaminación en producción y procesamiento de alimentos de origen acuícola, así lo dio a conocer el gerente del CESAEM, Óscar Jiménez Bahena.

Con la asistencia de profesionales acuícolas de los estados de Sonora, Campeche, Yucatán, Estado de México, Veracruz, Michoacán, Distrito Federal, Tamaulipas, Hidalgo, entre otros, y con el reconocimiento oficial del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica), la UAEM y el CESAEM, inició este curso que concluirá con una práctica de campo en una de las siete unidades

reconocidas en buenas prácticas de producción que tiene Morelos a la fecha, gracias al seguimiento y apoyo que brinda el Comité de Sanidad Acuícola de Morelos.

Óscar Jiménez Bahena destacó que la importancia de este curso de capacitación, se centra en la posibilidad de que los asistentes puedan ofrecer a las unidades de producción acuícola de todo el país servicios de auditores y/o verificadores en sistemas de reducción de riesgos de contaminación, con el fin de obtener el Reconocimiento en Buenas Prácticas de Producción Acuícola que otorga la autoridad federal a través del Senasica de la Secretaría de Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa).

Por último, afirmó que esta necesidad de contar con profesionales en la materia llevó a concretar el curso en Morelos, reconociendo el trabajo del CESAEM en el sector acuícola de México, su trabajo y experiencia al ser seleccionados entre 26 comités que existen en México para llevar a cabo esta capacitación y aprovechar la excelente vinculación que han establecido el CESAEM y la UAEM.

[http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2012/11/26/realizan en la uaem curso para productores acuicolas.html](http://www.panoramaacuicola.com/noticias/2012/11/26/realizan%20en%20la%20uaem%20curso%20para%20productores%20acuicolas.html) (CONSULTADO 26/11/2012)

1.2 Calidad de agua

Una ventaja del sistema de recirculación de agua es la capacidad de controlar el ambiente y algunos parámetros de calidad de agua para optimizar la salud de los peces y sus tasas de crecimiento. Aunque el medio acuático es un ecosistema complejo que está formado por diversas variables de calidad de agua, es afortunado el hecho de que sólo unos pocos de estos parámetros jueguen roles decisivos. Los parámetros en cuestión son la temperatura, los sólidos suspendidos y el pH, la concentración de oxígeno disuelto, amoníaco, nitritos, dióxido de carbono y alcalinidad. Cada parámetro por si solo es importante, pero lo que influye en la salud y la tasa de crecimiento de los peces es el agregado e interrelación entre los mismos.

Las concentraciones de cada uno de ellos puede ser inocua en una situación o tóxica en otra. Por, ejemplo, cuando se presentan problemas de aeración y desgasificación, generalmente los niveles de dióxido de carbono son altos y al mismo tiempo los de oxígeno disuelto son bajos. El resultado de esta situación no es la menor cantidad de oxígeno disuelto disponible para los peces, si no que el dióxido disminuye su capacidad retransportar oxígeno, agravando el estrés por los bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua. Otro ejemplo, es la interacción entre el pH y el amoníaco. A un pH bajo, la mayor parte del amoníaco se encuentra en la forma ionizada no tóxica. Sin embargo, al aumentar el pH en sólo una unidad (6.5 a 7.5) la concentración del amoníaco tóxico aumenta en un factor de 10. Al añadir bicarbonato de sodio para

aumentar la alcalinidad en el agua se puede producir esta condición indeseable en forma accidental. Esto hace que sea importante entender las interacciones de la parámetros en el agua y su monitoreo de forma rutinaria. Por ello, cuando se requieren ajustes, hay que realizarlos en forma lenta y cuidadosa.

Otro parámetro importante de considerar es la temperatura, ya que los peces no tienen la capacidad de controlarla en su cuerpo y mantenerla independiente del medio ambiente. Los cambios de temperatura afectan directamente a sus reacciones bioquímicas, lo que lleva a diferentes tasas metabólicas y de consumo de oxígeno. En la medida que aumenta la temperatura, los peces se vuelven más activos y consumen una mayor cantidad de oxígeno, mientras simultáneamente producen más dióxido de carbono y otros productos de excreción, como el amoníaco. Si estas tasas de consumo y de producción de excretas van en aumento pueden causar un efecto de estrés impactando directamente en la salud general y sobrevivencia de los peces.

1.2.1 Normas de calidad de agua

La propia naturaleza de la acuicultura hace casi imposible formular una lista definitiva de parámetros y concentraciones permisibles, de tal manera que sea útil para todas las especies de peces y condiciones ambientales y de producción. Por lo que en el mejor de los casos estas listas sólo son recomendaciones. La Tabla 1.2 proporciona los parámetros necesarios de calidad de agua para caracterizar el suministro potencial de agua y proporciona recomendaciones muy generales de criterios de calidad del agua para cada parámetro.

Tabla 1.2 Criterios de calidad del agua para acuicultura

Parámetro	Concentración (mg/L)
Alcalinidad (como CaCO ₃)	50 – 300
Aluminio	<0.01
Amoníaco (N- NH ₃ no ionizado)	<0.0125 (salmón)
Nitrógeno amoniacal total	
- Peces de agua fría	<1.0
- Peces de agua cálida	<3.0
Arsénico	<0.05
Bario	<5.0
Cadmio	
- Alcalinidad < 100 mg/L	<0.0005
- Alcalinidad > 100 mg/L	<0.005
Calcio	4 – 160
Dióxido de carbono	
- Especies tolerantes (tilapia)	<60.0
- Especies sensibles (salmón)	<20.0
Cloro	<0.003
Cobre	

Parámetro	Concentración (mg/L)
- Alcalinidad < 100 mg/L	0.006
- Alcalinidad > 100 mg/L	0.03
Dureza total (como CaCO ₃)	>100
Cianuro de hidrógeno	<0.005
Acido sulfhídrico	<0.002
Hierro	<0.15
Plomo	<0.02
Magnesio	<15.0
Manganeso	<0.01
Mercurio	<0.02
Nitrógeno gas	<110% presión de gas total <103% como gas nitrógeno
Nitritos	<1.0 0.1 en agua blanda
Nitrato	0 – 400 o más
Níquel	<0.1
Oxígeno disuelto	>5.0
Ozono	<0.005
PCB's	<0.002
pH	6.5 – 8.5
Fósforo	0.01 – 3.0
Potasio	<5.0
Salinidad	Depende de la sal o especie de agua dulce
Selenio	<0.01
Plata	<0.003
Sodio	<75
Sulfato	<50
Azufre	<1.0
Sólidos disueltos totales	<400
Sólidos suspendidos totales	<80
Uranio	<0.1
Vanadio	<0.1
Zinc	<0.005

1.2.2 Parámetros de calidad del agua

- Oxígeno disuelto

De todos los parámetros de calidad, el oxígeno disuelto es el más crítico e importante y requiere de un monitoreo continuo en sistemas intensivos de producción. La naturaleza le jugo una mala pasada a la acuicultura, cuando decidió que la concentración de saturación de oxígeno disuelto sería la más alta a baja temperatura y la más baja a altas

temperaturas. Esta condición es exactamente contraria a la que los peces necesitan para su metabolismo basal y conversión de alimento, que es más alta a mayores temperaturas y más baja a menores temperaturas. Debido a que el oxígeno es ligeramente soluble en agua, las especies acuáticas deben gastar una gran cantidad de energía para extraerlo del agua.

Es difícil especificar las concentraciones críticas de oxígeno disuelto, porque la respuesta a las bajas concentraciones no es de vida o muerte, sino un conjunto de efectos fisiológicos. Estos efectos también son influenciados por el tiempo de exposición, el tamaño y la salud de los peces, la temperatura del agua, la concentración de dióxido de carbono y otras condiciones ambientales.

En general, los peces de agua cálida se alimentan mejor, crecen más rápido y son más sanos cuando las concentraciones de oxígeno superan los 5 mg/L. Sin embargo, concentraciones superiores no parecen proporcionar beneficios adicionales a los peces.

- Temperatura

Los peces se clasifican como poiquilotérmicos o de sangre fría, lo que significa que la temperatura de su cuerpo es muy parecida a la del ambiente que los rodea.

La temperatura del agua ocupa el segundo lugar en importancia e impacto en la producción acuícola. Esta influye directamente en los procesos fisiológicos, tales como la respiración, alimentación y asimilación, crecimiento, comportamiento y reproducción.

Los peces han sido agrupados en tres categorías; especies de agua muy fría con temperatura alrededor de 15 °C, agua fría entre 15 y 20 °C y cálida alrededor de 20 °C. Estos valores no son exactos y se debe tener en cuenta que existen diversos factores para determinar la tolerancia de los peces a diferentes temperaturas.

- Amoníaco/ Nitritos/Nitratos

Estos compuestos de nitrógeno son contaminantes en la columna de agua de los sistemas de acuicultura, por lo que su concentración deberá estar dentro de los límites permisibles. El nitrógeno es un nutriente esencial para todos los organismos vivos, y se encuentra en proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos de piridina y pigmentos. Sin embargo, el nitrógeno se necesita en relativamente pequeñas cantidades por lo que las necesidades fisiológicas se satisfacen fácilmente. Las cantidades excedentes se convierten en desechos nitrogenados y es necesario extraerlos. Los peces producen y excretan diversos productos de desecho por difusión a través de las branquias, por intercambio de cationes en branquias y excretan orina y heces. Además, de la urea, ácido úrico y aminoácidos, otras fuentes de nitrógeno son restos orgánicos de peces muertos, alimento que no se consume y del gas de la atmósfera.

El amoníaco, los nitritos y nitratos son altamente solubles en agua. El amoníaco existe en dos formas: NH_3 no ionizado y NH_4^+ ionizado. Su concentración en el agua esta en función del pH, la salinidad y la temperatura.

El NH_3 es tóxico para los peces a bajas concentraciones, con un LC 50 de 96 horas que varía ampliamente por especie, comenzando a concentraciones tan bajas como 0.08 mg/L para salmón hasta 2.2 mg/L para la carpa común. En general los peces de agua cálida toleran mejor la toxicidad del amoníaco que los de agua fría, los de agua dulce son más tolerantes que los de agua salada. Por lo que se recomienda mantener la concentración por debajo de 0.05 mg/L.

El nitrito es el producto intermedio en el proceso de nitrificación del amoníaco a nitrato. Aunque éste se convierte rápidamente, constituye un problema en sistemas de recirculación porque es producido constantemente, por lo que los peces están expuestos continuamente a ciertas concentraciones de éste. Este compuesto es tóxico porque afecta la habilidad de la hemoglobina de la sangre para transportar oxígeno, ya que cuando éste ingresa al torrente sanguíneo, oxida el hierro que contiene ésta, de ferroso a férrico.

El cloruro presenten el agua reduce la absorción de nitritos. Los niveles de cloruros se pueden aumentar agregando sal común. Se recomienda una relación de 20:1, cloruro:nitrito.

El nitrato es el producto final de la nitrificación es el menos tóxico, con valores que generalmente exceden los 100 mg/L. En los sistemas de recirculación, los niveles de nitratos son generalmente controlados con un intercambio diario de agua. En aquellos con poco intercambio o grandes períodos de retención hidráulica, se hace necesario implementar la desnitrificación.

- pH

El valor de pH expresa la intensidad de la acides o alcalinidad del agua. La escala varía de 0 a 14, con un valor neutro de 7, por debajo de éste predomina el ión H^+ (ácido), y por arriba predomina el OH^- (básico o alcalino). En la mayor parte de las aguas subterráneas y superficiales el pH es regulado por el sistema bicarbonato-carbonato y tiene valores de 5 a 9. En aguas de mar esta regulado por el sistema bicarbonato-borato y presenta valores de 8 a 8.5. El óptimo para el crecimiento y salud de los peces de agua dulce está entre 6.5 y 9.0.

La exposición a un pH extremo puede ser estresante o letal, pero son más importantes los efectos indirectos que resultan de su interacción con otros compuestos. Como por ejemplo, la relación que tiene con el amoníaco, ácido sulfhídrico, cobre, cadmio, zinc y aluminio y su toxicidad.

- Alcalinidad/Dureza

La alcalinidad es una medida de la capacidad de amortiguamiento de pH. En el agua dulce esta comprendida entre 5 y 500 mg/L. En los sistemas de recirculación la relación pH y alcalinidad se ha convertido en un tema importante. Esta relación requiere un monitoreo y ajuste cuidadoso tanto de los niveles de alcalinidad como de los de dióxido de carbono para mantener un pH óptimo. La Alcalinidad se ajusta fácilmente mediante la adición de bicarbonato de sodio. Una regla empírica es que por cada kilo de alimento se agregue 0.25 kg de bicarbonato. Las concentraciones de dióxido de carbono se controlan en forma rutinaria a través de sistemas de desgasificación, tales como torres de desgasificación de contraflujo.

En términos químicos, la dureza se define como la concentración total de calcio y magnesio. Por otra parte, el agua ha sido clasificada en blandas de 0 a 75, moderadamente duras 75 a 150, duras 150 a 300 y muy duras mayor a 300 mg/L.

Las recomendaciones para la dureza en el agua varían de 20 a 300 mg/L y esta es importante por su contenido de calcio, debido a que respalda a los huevos de peces recién fertilizados y para favorecer la calcificación de los esqueletos de las larvas. El calcio y el magnesio también disminuyen la toxicidad de los metales disueltos.

- Salinidad

El calcio, el sodio, el potasio, el bicarbonato, los cloruros y los sulfatos son los principales contribuyentes de las sales disueltas que generan la salinidad del agua. Los peces mantienen la concentración de sales disueltas en los fluidos de su cuerpo regulando el ingreso de iones desde el ambiente y por otro lado evitando la pérdida de estos. Este proceso se llama osmoregulación. Los peces de agua dulce, por ejemplo, tienden a acumular agua porque tienen en su cuerpo fluidos con mayores concentraciones de iones que el agua que los rodea.

Cuando están expuestos a valores de salinidad fuera de su rango óptimo, las especies deben gastar una considerable energía para la osmoregulación a expensas de otras funciones, tales como el crecimiento. Si la salinidad se desvía muy por encima de lo óptimo, el pez no puede mantener la homeostasis y muere. La sangre de los peces de agua dulce tiene una presión osmótica igual a la de una solución de cloruro de sodio de 7 mg/L. Los sistemas de acuicultura generalmente se mantienen a una salinidad de 2 a 3 mg/L para disminuir los niveles de estrés y la cantidad de energía requerida para la osmoregulación, con lo cual aumentan las tasas de crecimiento.

- Dióxido de carbono

La concentración de dióxido de carbono disuelto en aguas superficiales depende de la tasa de respiración, fotosíntesis e intercambio de gases con la atmósfera. La exposición a altas concentraciones de dióxido de carbono reduce la eficiencia de la respiración y

disminuye la tolerancia a concentraciones bajas de oxígeno disuelto. Niveles altos de dióxido de carbono en el agua reducen la excreción de dióxido de carbono en las branquias de los peces. Esto, a su vez, hace que aumente la concentración de CO₂ en la sangre de los peces, disminuyendo el pH del plasma sanguíneo, lo que produce una enfermedad llamada acidosis respiratoria. Cuando un pez sufre esta condición, la cantidad de oxígeno que puede transportar la hemoglobina disminuye, pudiéndose disparar la enfermedad respiratoria, incluso con altas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua. Se recomienda un límite superior de CO₂ de 15 a 20 mg/L como máximo en condiciones prolongadas. Sin embargo, como una técnica de manejo, las concentraciones de 60 a 80 mg/L tienen un efecto narcótico y a veces son usadas temporalmente como anestésico para reducir estrés de manipulación.

- Sólidos

Los desechos sólidos que se acumulan en un sistema de acuicultura provienen de alimento no ingerido, desechos de los peces, algas y películas bacterianas desprendidas de los filtros biológicos. Algunos estudios indican que los peces producen entre 0.3 y 0.4 kg de sólidos suspendidos totales por cada kilogramo de alimento ingerido. Los desperdicios sólidos influyen en la eficiencia de todos los demás procesos de un sistema de recirculación. Ellos constituyen una fuente de la demanda de oxígeno e incorporación de nutrientes al agua, y pueden afectar directamente la salud de los peces dentro de los sistemas de recirculación dañando sus branquias y siendo un foco de crecimiento de patógenos. El límite superior tentativo para los peces de agua dulce es de 25 mg/L, siendo 10 mg/L lo recomendado para una operación normal. Por lo tanto, la remoción de sólidos es uno de los procesos más críticos e importantes en los sistemas de acuicultura.

a) Fuentes de agua

El requerimientos más importantes de un lugar para una instalación acuícola exitosa, es una fuente de agua de buena calidad, con suficiente capacidad para suministrar las necesidades iniciales y las ampliaciones futuras. Por esto es importante no perder de vista que el objetivo de un sistema de recirculación es minimizar el consumo de agua.

Los dos recursos hídricos más utilizados en la acuicultura son las aguas subterráneas y las que suministra el municipio. Ambas, tienen generalmente la calidad, cantidad y confiabilidad requerida, de manera que la selección entre ellas está basada en disponibilidad y economía. Las aguas superficiales no deben ser utilizadas, debido a los altos riesgos de contaminación por sustancias agrícolas o industriales, huevos de otros peces, larvas de insectos y microorganismos no deseados.

Fuente: Michel B. Timmons, James M. Eg, Fred W. Wheaton, Steven T Summerfelt, Brian J. Vinci, "Sistemas de recirculación para la acuicultura"; Editado e impreso por Fundación Chile, Chile 2002.

2 JUSTIFICACIÓN

En los recientes años a nivel internacional, así como en el país esta tomando importancia la rama productiva de la acuicultura, la cual presenta un desarrollo económico para los productores de peces de ornato y de carne. Por lo tanto, un recurso valioso para el progreso de esta actividad es el agua, por lo que es importante considerar su calidad, ya que de ésta dependerá también la calidad del producto generado. Sin embargo, la agricultura compite abiertamente por el agua con la acuicultura, por lo que ésta, solo emplea casi siempre los excedentes de la primera y además con pésima calidad.

Por otra parte, para poder darle el auge que requiere la acuicultura, es necesario que los productores empiecen a tecnificar sus unidades productivas, esto con la finalidad de poder satisfacer la demanda del mercado nacional. Así, una de las primeras acciones que se deben tomar en cuenta, es la de contar con la cantidad y calidad del agua requerida para mantener una producción en constante crecimiento.

Un primer paso para lograr esta acción, sería el implementar un sistema de tratamiento de agua que permita minimizar el consumo de la misma y que proporcione una calidad adecuada para que se reuse nuevamente, sin que altere la vida de los peces que se cultiven.

Por lo que el año pasado, tomando como base la tecnología de filtración en múltiples etapas para potabilizar agua superficial (comprende tres filtros), se desarrollo y evaluó una adaptación para producir agua de una calidad adecuada para los peces, sin llegar a su potabilización. El sistema esta compuesto de un filtro de flujo ascendente con tezontle como material de filtración y cinco tinajas, además, opera con recirculación interna de tal manera que no genera una descarga de agua residual. Los resultados mostraron que es factible obtener agua de buena calidad para la producción y desarrollo de los peces hasta con tasas de filtración de $10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$.

Por este motivo en este año, es necesario mantener y operar este sistema para que sirva como una plataforma de vitrina tecnológica del reuso de agua residual en un sistema de acuicultura, que opera con una descarga de agua residual cero. Además, se pretende realizar una transferencia hacia los acuicultores del estado de Morelos.

3 OBJETIVO

Operación y mantenimiento del sistema acuícola de peces de ornato de la planta de tratamiento de aguas residuales

4 METODOLOGÍA

1. Operación del sistema de filtración:

- a) Se pondrán en operación los filtros de tezontle y esponja a una tasa de filtración de 5 m³/ m² h.
- b) Se determinarán diariamente a la entrada y salida del filtro los siguientes parámetros: Color, Turbiedad, Temperatura, Sólidos Suspendidos, pH y Oxígeno Disuelto.
- c) Se determinarán cada catorce días a la entrada y salida del filtro los siguientes parámetros: Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Amoniacal, Dureza y Alcalinidad.

2. Mantenimiento del sistema acuícola

3. Reproducción y compra de peces de peces

4. Elaboración de un artículo

5. Impresión del manual de operación y mantenimiento del sistema acuícola

6. Curso de transferencia del sistema acuícola

7. Elaboración del Informe final

5 RESULTADOS

5.1 Sistema de filtración

El proceso de tratamiento es físico y trabaja por medio de filtración ascendente. Es empleado para remueve sólidos suspendidos, turbiedad, color y nitrógeno amoniacal. Puede ser empleado bajo dos conceptos de operación:

- Limpiar un agua con alto contenido de sólidos suspendidos y color de estanques de crecimiento.
- Mantener un agua limpia en estanques de crecimiento.

En el primer caso, el tiempo de la carrera de filtración se verá reducido drásticamente, por lo que es muy probable que una vez alcanzada la calidad del agua deseada, se tenga que retrolavar el sistema de tratamiento.

En la segunda alternativa, el iniciar con un agua limpia y mantenerla así, alarga hasta en seis meses el tiempo de la carrera de filtración, tiempo en el que se deberá retrolavar.

5.1.1 Descripción

El sistema de filtración en múltiples etapas fue concebido como un sistema de tratamiento para obtener un agua para abastecimiento público, sin embargo, los requerimientos para la acuicultura no son tan estrictos por lo que no se utilizará la filtración lenta, y los filtros grueso dinámico (FGD) y grueso ascendente en capas (FGAC) se unirán para constituir un solo filtro, que operará con un flujo en forma ascendente.

La capacidad del sistema de tratamiento de filtración puede variar de 1 a 10 m³/m² h y dependerá de la calidad del agua de entrada y de salida que se requiera.

El material filtrante y el soporte son de tezontle, que abunda en el centro de la República Mexicana y que es de bajo costo, por lo que sustituye a los materiales de grava y arena. Además, es un material poroso, que presenta un área de filtración mucho mayor que el de la arena y la gravilla.

Para el manejo del agua (sistema hidráulico), se recomienda que la tubería sea de PVC hidráulico y el diámetro será de acuerdo a la succión y salida de la bomba. En algunos casos para un abomba centrífuga de 1 HP comercial, la succión es de 32 mm (1 ¼") y la descarga de 25.4 mm (1"). Estos diámetros permiten trabajar de manera satisfactoria una tasa máxima de filtración de 10 m³/m² h.

La Figura 5.1 muestra el sistema de filtración. Siguiendo el flujo del agua los componentes son: Una tina con peces, de donde se toma el agua residual a filtrar, una bomba de agua centrífuga con la que se succiona y envía el agua a filtración, una válvula de globo para toma de muestras (1), una válvula de compuerta con la que se regula la cantidad de agua a filtrar (2), un tanque que contiene el material filtrante, otra válvula de globo para toma de muestras de agua tratada (3), una válvula de globo (4) para regular el agua que ingresa a la tina de peces, una válvula de globo (7), que regula al agua que sale de la tina de peces, una válvula de no retorno (8) que evita que cuando el sistema deja de operar el filtro no se quede sin agua. Cuando el sistema se retrolava el agua ingresa por la válvula de compuerta (5) y es drenada por la válvula de globo (6). Es necesario que permanezcan cerradas las válvulas (2) y (4).

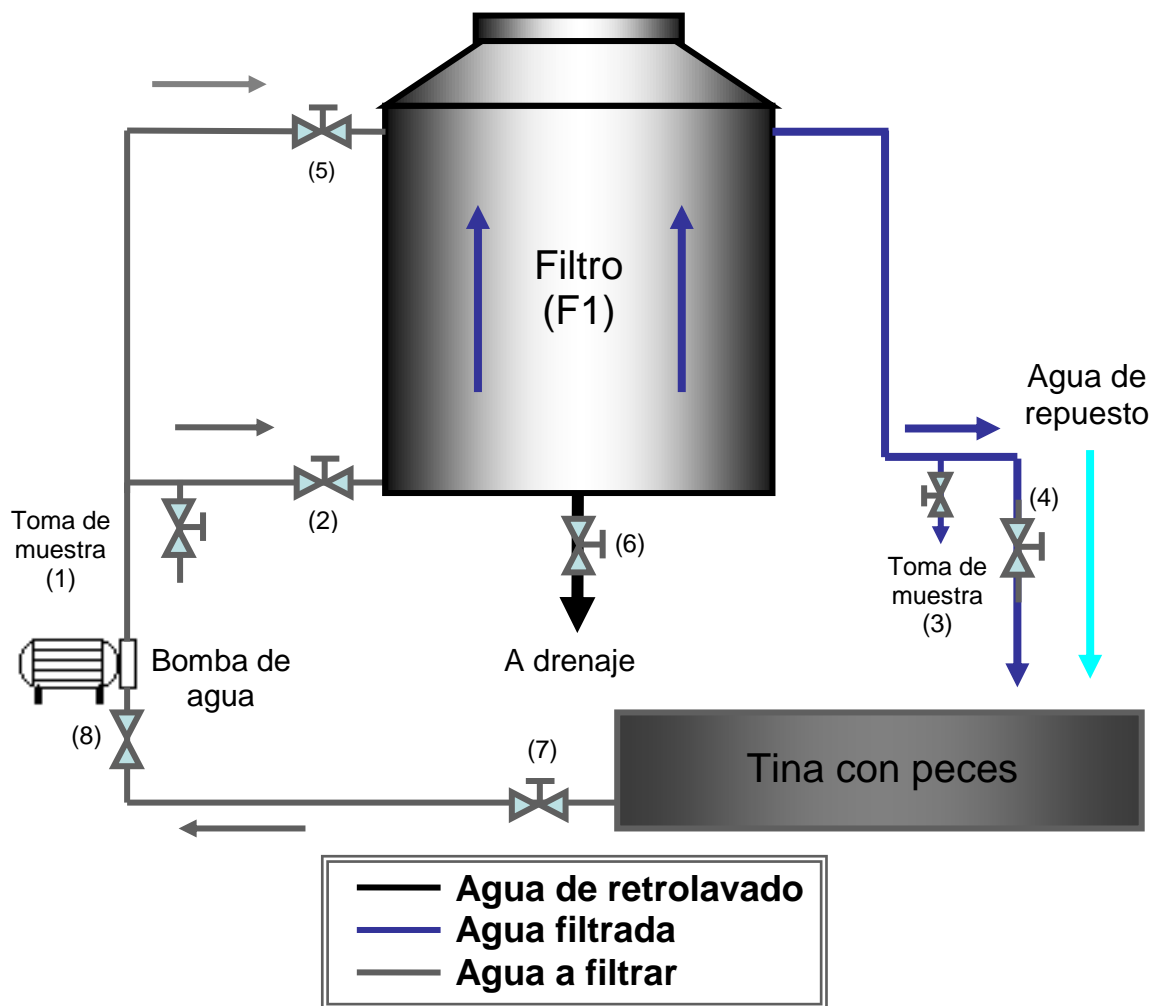


Figura 5.1 Sistema de filtración

En la Figura 5.2 se muestra el arreglo de la granulometría del tezontle que conforma el lecho filtrante, en donde el bajo dren esta constituido por un espesor de 15 cm, con un

diámetro de 19 a 25 mm y el lecho filtrante tiene un espesor total de 60 cm, conformado por tres capas con espesor de 20 cm cada una, pero con diferentes diámetros.

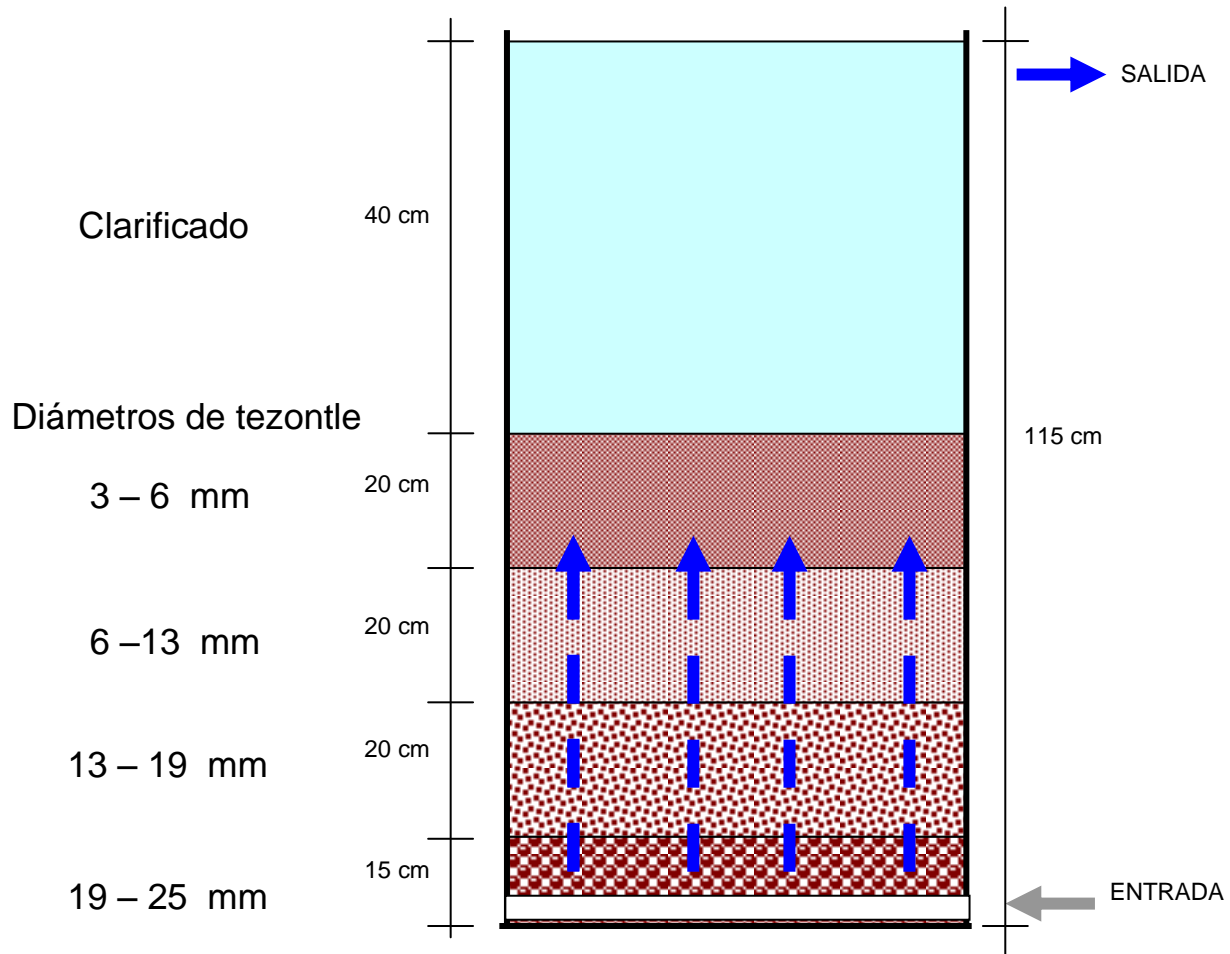


Figura 5.2 Arreglo del lecho de filtración

El ramal de distribución de agua en el interior es de PVC cédula 40 de 50 mm (2") de diámetro y su arreglo se muestra en la Figura 5.3. En la parte inferior tiene dos hileras de pequeños orificios de un diámetro de 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ ") con una separación en forma horizontal de 5 cm y entre líneas de 3 cm. En la Foto 5.1 y en la Foto 5.2 muestra claramente este arreglo.

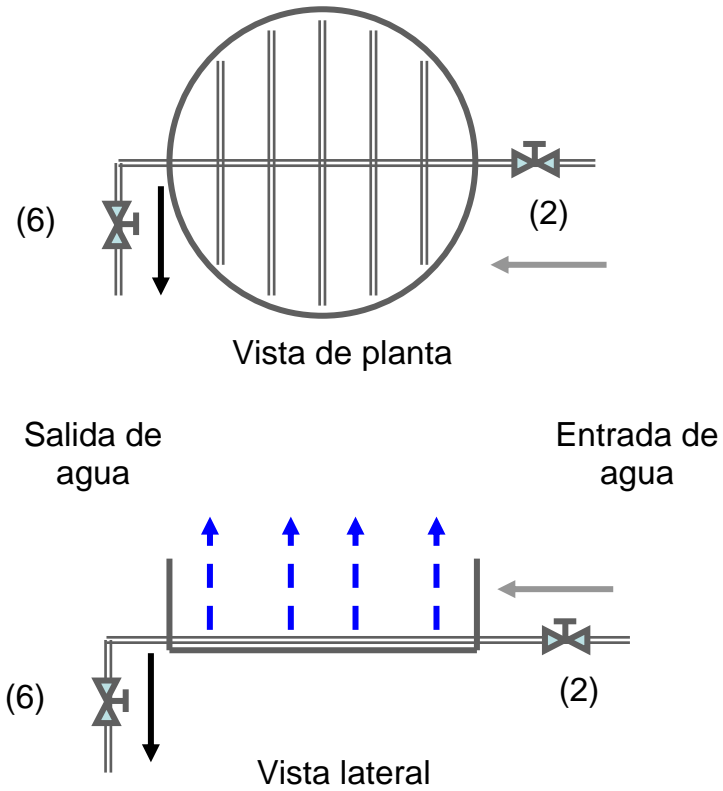


Figura 5.3 Ramal de distribución de agua en filtro



Foto 5.1 Ramal de distribución de agua en el interior del filtro



Foto 5.2 Distribución de orificios en el ramal

5.1.2 Operación

El agua que se empleó para operar es sistema de recirculación es agua residual tratada que proviene de la PTAR del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, que es un sistema biológico de lodos activados.

a) Arranque

Para que el sistema entre en operación se deberá comprobar primero que las válvulas VA-03 y VA-05 estén abiertas y todas las demás cerradas (Figura 5.4).

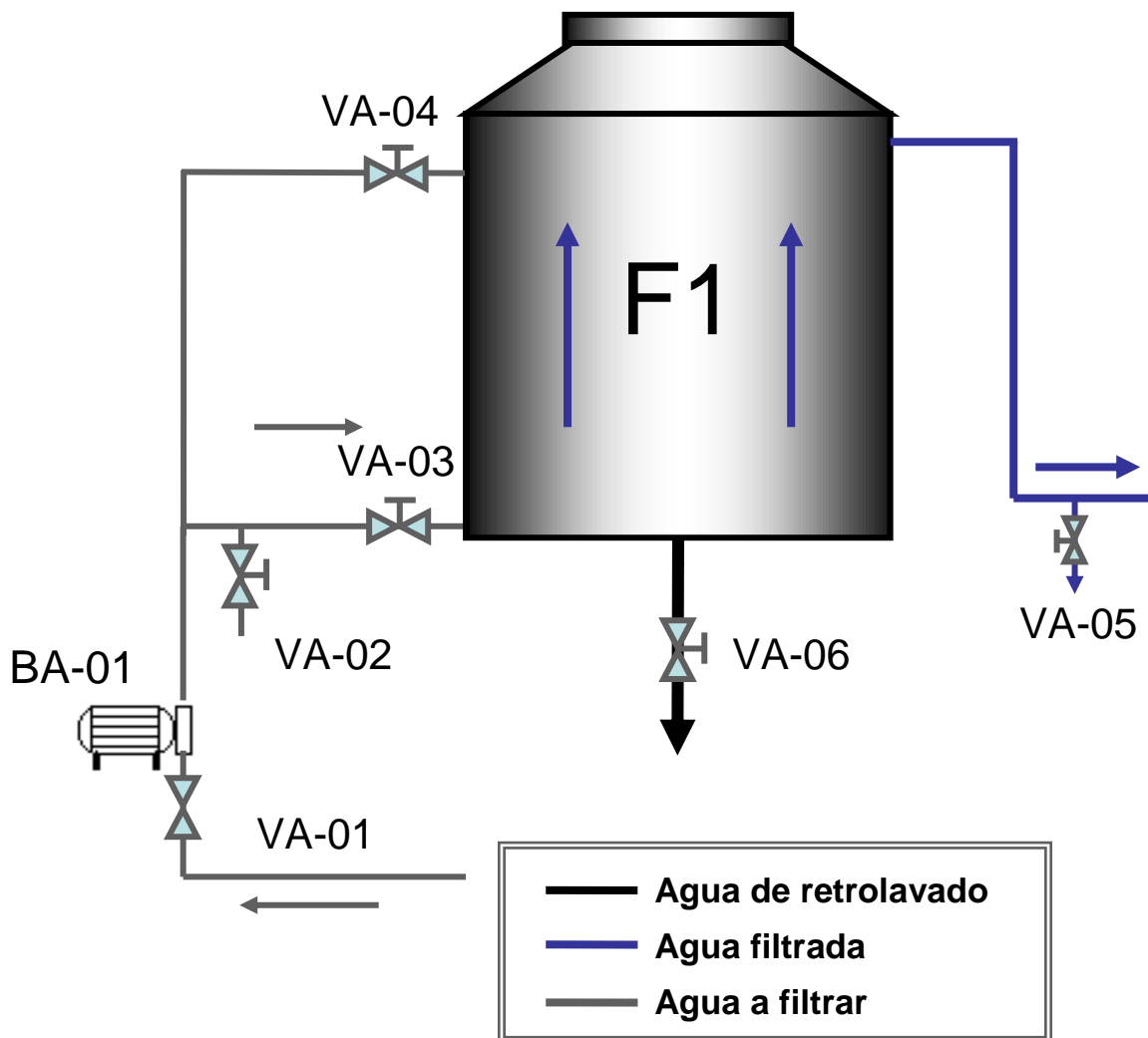


Figura 5.4 Arreglo hidráulico en el filtro

Encender la bomba centrífuga (BA-01) de un HP de potencia, el agua será succionada de las tinas con peces y enviada al filtro (F1). El flujo de agua que ingresa a éste será controlado o regulado por la válvula de compuerta (VA-03) mediante el número de vueltas de apertura.

b) Distribución de agua en tanques

El arreglo que se muestra en la Figura 5.5 es el que se encuentra en las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Los tanques son de un diámetro de 2.5 m y una altura de 0.80 m, con una capacidad aproximada de 4 m³.

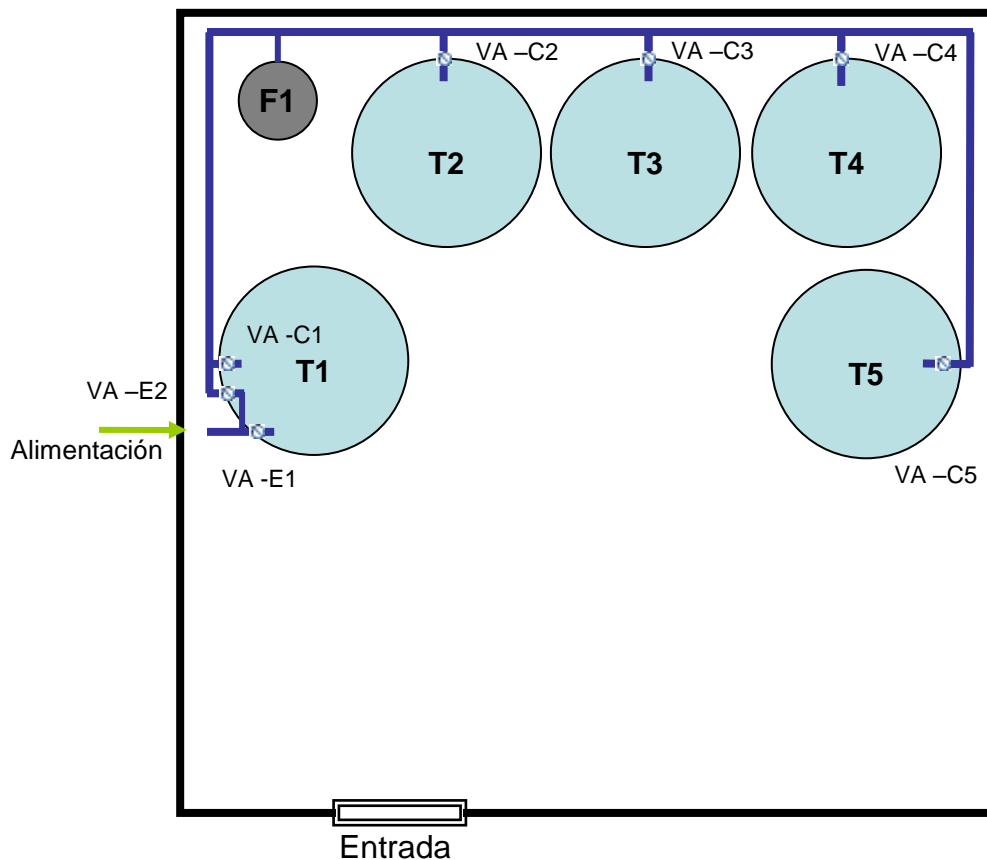


Figura 5.5 Distribución de agua en tanques

Para iniciar la alimentación de agua la válvula VE-E1 debe permanecer cerrada. El agua ingresa por la parte que indica la flecha verde y debe estar abierta la válvula VA-E2. Los tanques son alimentados mediante la apertura de las válvulas VA-C1, VA-C2, VA-C3, VA-C4 y VA-C5.

La alimentación del agua terminará cuando los tanques tengan el nivel deseado de agua, se recomienda dejar por lo menos un bordo libre de 10 cm. Se debe cerrar la válvula VE-E1.

Si se requiere agua de alimentación para otras áreas, tanques o peceras que no estén conectadas al sistema, se debe cerrar la válvula VE-E1 y abrir la válvula VE-E2. Una vez concluida la operación esta deberá ser cerrada.

Cuando el sistema se encuentra en operación normal el agua proviene del filtro (F1), en este caso las válvulas VA-E1 y VA-E2 deben permanecer cerradas y la bomba (BA-01) encendida y las válvulas VA-C1, VA-C2, VA-C3, VA-C4 y VA-C5 abiertas.

Por lo general, el tanque que este más cerca del filtro (F1) tenderá a tener un mayor caudal de agua de entrada, por lo que para controlar el flujo de ingreso a cada tanque se deben regular las aberturas de las válvulas VA-C1, VA-C2, VA-C3, VA-C4 y VA-C5. Mediante esta actividad se realiza una distribución equitativa del agua y se evita un desbalance de niveles en los tanques.

c) Monitoreo del sistema

Para poder registrar la eficiencia del sistema es necesario monitorear la calidad del agua. Por tal motivo, se determinaran los siguientes parámetros:

i) Diariamente a la entrada y salida del filtro.

- Color
- Turbiedad
- Sólidos suspendidos totales (SST)

La toma de muestra se realiza por medio de las válvulas VA-02 y VA-05 (Figura 5.4). Se recomienda realiza un registro mediante el empleo del siguiente formato.

Fecha	Entrada			Salida		
	Color (UPtCo)	Turbiedad (UNT)	SST (mg/L)	Color (UPtCo)	Turbiedad (UNT)	SST (mg/L)

El análisis de estos datos permite determinar cual es la eficiencia del filtro y si esta manteniendo la calidad de agua que se requiere en el sistema. Se recomiendan como valores límites: SST menor a 20 mg/L, turbiedad menor a 20 UNT y color menor a 100 UPtCo. Cuando se rebasen estos valores será necesario realizar un retrolavado del filtro.

ii) Diariamente en los estanques de peces.

- Temperatura
- pH
- Oxígeno disuelto (OD)

Las determinaciones son directas en el tanque y por lo menos a una profundidad de 10 cm bajo el nivel del agua. No es necesario realizarlo en todos los tanque, se debe elegir solo algunos y que sean de interés para el productor. Se recomienda realiza un registro mediante el empleo del siguiente formato.

Fecha	Tanque 1			Tanque 2		
	Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)

Estos parámetros son importantes para mantener en buenas condiciones el agua de los tanques, debido a que indican si el agua esta apta para la reproducción o crecimiento de los peces, además de contar con el oxígeno requerido.

iii) Semanalmente a la entrada y salida del filtro.

- Nitrógeno amoniacal (NH₃)
- Dureza total (DT)
- Alcalinidad

La toma de muestra se realiza por medio de las válvulas VA-02 y VA-05 (Figura 5.4). Se recomienda realiza un registro mediante el empleo del siguiente formato.

Fecha	Entrada			Salida		
	NH ₃ (mg/L)	DT (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	DT (mg/L)	Alcalinidad (mg/L)

Estos parámetros son importantes, al igual que los anteriores, para mantener en buenas condiciones el agua en los tanques, debido a que indican si el agua esta apta para la reproducción o crecimiento de los peces, y que los niveles del nitrógeno amoniacal no sobre pasen las concentraciones que puedan hacer el agua tóxica.

Para poder realizar las determinaciones que se describieron anteriormente, en el mercado actualmente se encuentran disponibles diversos equipos portátiles de campo que permiten realizar estas determinaciones sin ningún problema. Algunas marcas comerciales son HACH y HANNA.

d) Recirculación de agua en tanques

Una vez que el agua a sido filtrada y es enviada a los tanques, ésta permanece un tiempo en ellos, tras el cual por la presencia de los peces el agua es nuevamente

ensuciada, por lo que es necesario enviarla nuevamente al filtro. Por lo cual, el sistema cuenta con otro sistema hidráulico para recircular el agua (Figura 5.6). Así, los tanques cuentan con un ramal de succión (Foto 5.3) el cual es de PVC cédula 40 de 38 mm (1 ½”) de diámetro. En la parte inferior tiene dos hileras de pequeños orificios de un diámetro de 6.35 mm (¼”) con una separación en forma horizontal de 5 cm y entre líneas de 3 cm. El detalle se puede apreciar en la Foto 5.2.

Por lo general, el tanque que este más cerca de la bomba (BA-01) tenderá a tener un mayor caudal de agua de salida, por lo que para controlar esto se deben regular las aberturas de las válvulas VA-T1, VA-T2, VA-T3, VA-T4 y VA-T5. Esto permite mantener una distribución equitativa y evita un desbalance de niveles del agua en los tanques.

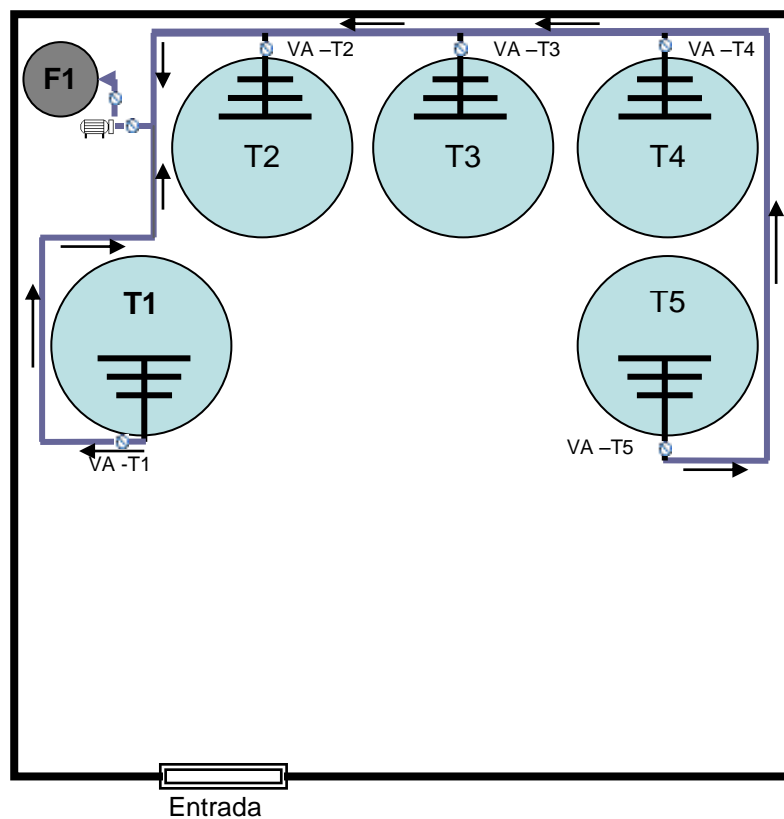


Figura 5.6 Recirculación de agua en tanques



Foto 5.3 Ramal de succión de tanques

e) Tanque fuera de operación

Si se requiere dejar fuera de operación un tanque y vacío, primero es necesario cerrar la válvula de entrada del agua, por ejemplo la VA-C1 y en seguida cerrar la válvula correspondiente de salida, en este caso sería la VA-T1. Una vez aislado el tanque, se procede a retirar lo peces. Ya sin ellos, para desalojar el agua se pueden emplear dos procedimientos, el primero y más sencillo es emplear una bomba sumergible y descargar el agua como se indica en la Figura 5.7 y Foto 5.4. La segunda realizar un sifón de agua con una manguera y descargar el agua como se indicó anteriormente.



Foto 5.4 Descarga de agua a desagüe

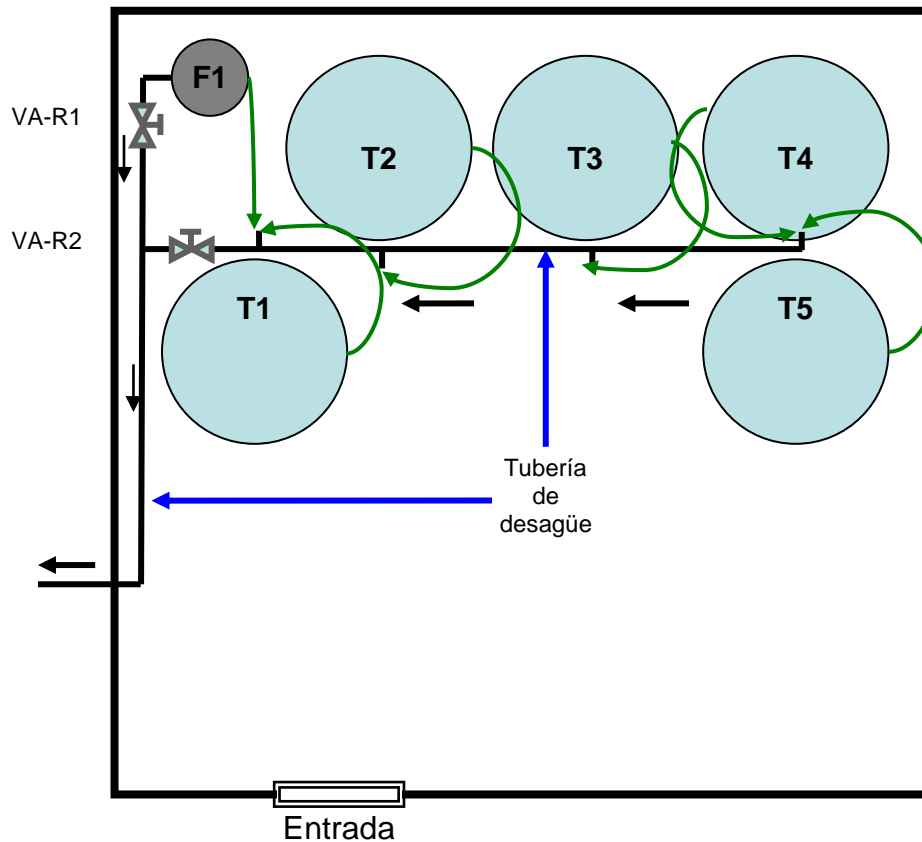


Figura 5.7 Drenaje de agua en tanques

f) Sistema de aire

Si por algún motivo el sistema de recirculación de agua debe dejar de operar por más de 2 horas, es conveniente que entre en operación el sistema de aeración que se muestra en la Figura 5.8. Para que este entre en operación primero es necesario abrir las válvulas VA-A1, VA-A2, VA-A3, VA-A4 y VA-A5 y después encender el soplador (SO-01).

Es necesario que la cantidad de aire que ingresa a cada tanque se regule y que sea uniforme en todas las tinas, esto se logra con el cierre o apertura de las válvulas VA-A1, VA-A2, VA-A3, VA-A4 y VA-A5.

Cuando ya no sea necesario introducir aire a las tinas, primero se deberá apagar el soplador (SO-01) y después cerrar las válvulas VA-A1, VA-A2, VA-A3, VA-A4 y VA-A5.

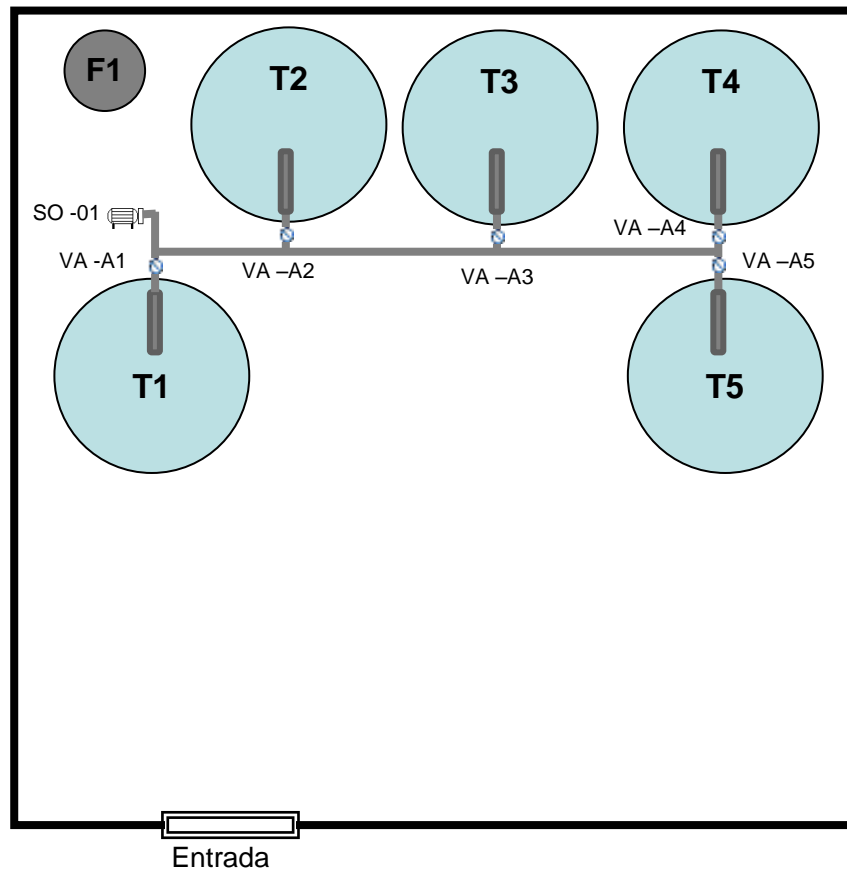


Figura 5.8 Distribución de aire en tanques

5.1.3 Mantenimiento

a) Filtro

Cuando la calidad del agua filtrada ya no es la adecuada y /o la tasa de filtración disminuyó es necesario limpiar el lecho filtrante, debido a que los pequeños sólidos que han sido retenidos se acumulan en los intersticios de éste reduciendo los canales por donde circula el agua, que en algún momento son tan estrechos que la presión del agua los rompe y provoca un arrastre de sólidos hacia la superficie. En algunos casos existe acumulación de sólidos en la superficie del lecho (Foto 5.5).

El procedimiento para realizar la limpieza del lecho se describe a continuación:

- Apagar la bomba BA-01.
- Realizar el procedimiento que se describe en el inciso (f).



Foto 5.5 Acumulación de sólidos sobre el lecho de filtración

- Retirar con la ayuda de un sifón los sólidos que se acumularon en la superficie del lecho (Foto 5.6) y desechar el agua en la tubería de desagüe como se muestra en la Figura 5.7 (línea verde). Tener cuidado de no arrastrar material.



Foto 5.6 Retiro de sólidos por sifón

- Retirar la primera capa del material (Foto 5.7).
- Lavar el material filtrante con agua en abundancia (Foto 5.8).
- Retrolavar el material restante:
 - o Cerrar la válvula VA-03.
 - o Abrir totalmente la válvula VA-04.



Foto 5.7 Retiro de la primera capa de material filtrante



Foto 5.8 Lavado de material filtrante

- Encender la bomba BA-01.
- Permitir que el agua alcance el nivel de entrada de la misma.
- Abrir la válvula VA-06.
- Cerrar la válvula VA-06 cuando el nivel del agua este casi al nivel de lecho filtrante.
- Volver a permitir que el agua alcance el nivel de entrada de la misma.
- Repetir los pasos anteriores, al menos dos veces más.
- Colocar el material filtrante que se lavó nuevamente en el filtro.
- Reponer el agua que se empleó para el retrolavado siguiendo lo descrito en el inciso (b) del punto 5.1.2.

- Iniciar operación normal de acuerdo a lo descrito en el inciso (b) del punto 5.1.2.

b) Tanques

Generalmente la materia fecal de los peces se deposita en el fondo de los tanque y al ser demasiado grandes para ser arrastradas por el cabezal de succión, éstas se acumulan, por lo que es necesario sean retiradas mediante el empleo de un sifón y el agua de desecho eliminada de acuerdo a lo descrito en el inciso (e) del punto 5.1.2.

La periodicidad de esta actividad dependerá de la cantidad y tamaño de los peces que se tengan en las tinas. Pero se recomienda que se realice por lo menos una vez cada tercer día.

Otra actividad a realizar es la limpieza de las paredes, más aun si estas son de color blanco, ya que existirá el desarrollo de una lama verde (algas). Por lo que es necesario contar con un cepillo para tallar continuamente las paredes.

La periodicidad de esta actividad dependerá de la cantidad y tamaño de los peces que se tengan en las tinas, así como de la incidencia solar sobre éstas. Se recomienda que se realice por lo menos una vez cada tercer día.

c) Ramal de succión

Los ramales están configurados por medio de la unión de tubos sobre los cuales se desarrolla el crecimiento de una lama verde (algas), más aun si estos son de color blanco. Por lo que es necesario contar con un cepillo para tallar continuamente los ramales.

La periodicidad de esta actividad dependerá de la cantidad y tamaño de los peces que se tengan en las tinas, así como de la incidencia solar sobre éstos. Se recomienda que se realice por lo menos una vez cada tercer día.

d) Difusores

Si los difusores no se operan continuamente sobre la membrana se adhiera una lama verde (algas). Por lo que es necesario contar con un cepillo para tallar continuamente las paredes.

La periodicidad de esta actividad dependerá de la cantidad y tamaño de los peces que se tengan en las tinas, así como de la incidencia solar sobre éstos. Se recomienda que se realice por lo menos una vez cada tercer día.

e) Equipo electromecánico

Debido a que la bomba (BA-01) es de operación continua se recomienda siempre contar con una de reserva. Esto con la finalidad de poder darle un mantenimiento preventivo, que se recomienda se realice por lo menos cada seis meses, y en el cual se debe revisar lo siguiente:

- Impulsor
- Rodamientos (Baleros)
- Capacitor
- Empaques
- Lubricación

De igual manera se debe realizar para el soplador (SO-01).

f) Instalación hidráulica

Toda la instalación hidráulica es de PVC y fue conectada con pegamento, por lo que es susceptible a que sufra algún golpe, se fracture o se rompa o se despeguen las uniones realizadas con el paso del tiempo. Por lo que es necesario realizar rutinariamente un recorrido para detectar fugas y repararlas. Ya que si éstas no son detectadas a tiempo pueden ocasionar una pérdida importante de agua en el sistema. Se recomienda que esta inspección se realice por lo menos una vez por semana.

5.2 Especies de peces en tanques de monitoreo

En el tanque 1:

- Espadas
- Gupis
- Cebras
- Miquis

En el tanque 2:

- Langostino
- Caramelo
- Kenyi
- Naranja
- Copo de nieve

En tanque 3:

- Mojarra o Tilapia

En tanque 4:

- Espadas
- Gupis
- Cebras
- Miquis
- Gurami
- Japones

En tanque 5:

- Carpa Koi
- Japones

5.3 Determinación de parámetros de control del sistema de filtración

En este punto es importante comentar que a partir del mes de septiembre el lecho filtrante de tezontle fue cambiado por esponja de poliuretano de densidades de 17, 20 y 24, con la finalidad de evaluar si este material puede remplazar la tezontle, sin afectar la calidad el agua de los estanques y por tanto la calidad de vida de los peces.

Lo anterior con la finalidad de poder todavía abaratar aún más el construcción de los filtros y su limpieza y/o mantenimiento.

En la Foto 5.9 y en la Foto 5.10 se muestran los sitios de los cuales se tomó el agua para realizar los análisis requeridos.



Foto 5.9 Toma de muestra entrada del filtro



Foto 5.10 Toma de muestra salida del filtro

5.1.4 Parámetros físicos de entrada y salida del filtro

De la Foto 5.11 a la Foto 5.14 se muestra el equipo que se empleó para realizar las determinaciones de turbiedad, color y sólidos suspendidos totales.



Foto 5.11 Preparación de muestra



Foto 5.12 Determinación de la turbiedad



Foto 5.13 Determinación del color



Foto 5.14 Determinación de los SST

Tabla 5.1 Parámetros físicos promedios mensuales del agua del filtro

MES	ENTRADA			SALIDA		
	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	SOLIDOS (mg/L)	TURBIEDAD (NTU)	COLOR (Pt-Co)	SOLIDOS (mg/L)
Enero	6.90	142.55	12.80	0.94	43.13	13.88
Febrero	1.55	82.94	13.20	0.47	59.72	12.54
Marzo	1.38	76.10	13.23	0.51	59.90	12.53
Abril	1.01	78.98	14.52	0.43	66.38	12.86
Mayo	2.07	114.69	11.68	1.03	93.44	9.55
Junio	1.49	178.71	6.86	1.05	172.05	5.09
Julio	1.68	214.24	7.90	1.02	199.00	6.57
Agosto	2.19	164.48	10.09	1.58	146.78	7.22
Septiembre	2.71	221.11	8.05	2.03	205.13	7.50
Octubre	4.42	250.42	13.42	4.39	229.22	12.31
Noviembre	9.95	404.86	26.96	7.86	344.21	20.58
Diciembre	7.98	364.71	18.93	7.86	335.54	18.79

5.1.5 Parámetros físicos en los tanques de peces

En la Foto 5.15 se muestra el procedimiento de la determinación y registro de los parámetros de temperatura, pH y oxígeno disuelto que se realizó para los estanques.



Foto 5.15 Determinación y registro de parámetros en estanques

Tabla 5.2 Parámetros físicos promedio mensuales del agua de los tanques

MES	T (°C)	OD (mg/L)	pH	T (°C)	OD (mg/L)	pH
Enero	19.3	5.4	7.3	19.3	5.1	7.2
Febrero	22.0	4.5	7.1	21.0	4.9	7.1
Marzo	22.6	5.4	7.3	22.8	5.0	7.3
Abril	24.1	4.7	6.5	24.7	4.5	6.7
Mayo	24.9	3.4	6.5	24.7	3.1	6.5
Junio	24.7	2.6	7.0	24.7	2.3	6.9
Julio	23.4	3.3	7.4	23.4	3.0	7.4
Agosto	23.6	4.4	7.6	23.5	3.9	7.5
Septiembre	23.0	4.5	7.7	22.9	3.7	7.6
Octubre	22.1	4.5	7.7	21.9	4.1	7.7
Noviembre	22.1	5.7	6.5	22.3	5.1	6.8
Diciembre	21.7	3.6	6.7	21.8	3.1	6.8

5.1.6 Parámetros químicos a la entrada y salida del filtro

De la Foto 5.16 a la Foto 5.22 se muestran las determinaciones analíticas que se realizaron a los diferentes parámetros para determinar la calidad el agua de entrada y salida del filtro.



Foto 5.16 Determinación de dureza

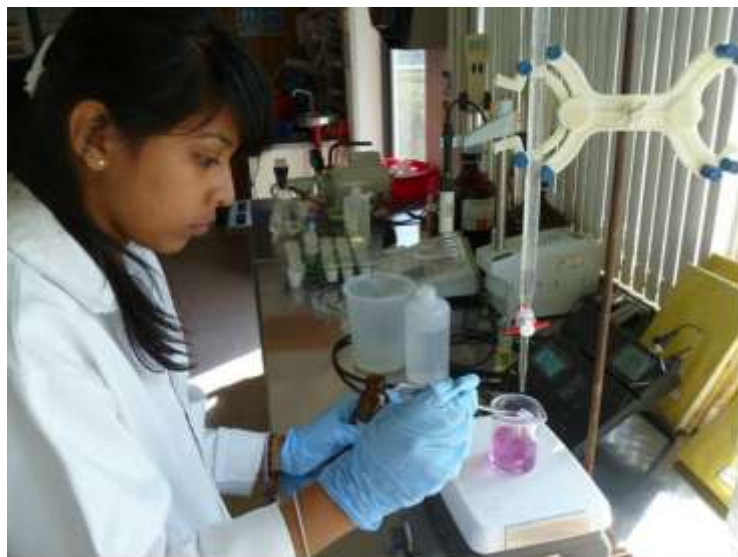


Foto 5.17 Determinación de alcalinidad



a



b

Foto 5.18 Determinación de fósforo total



a



b

Foto 5.19 Determinación de nitrógeno total



Foto 5.20 Determinación de DQO



Foto 5.21 Determinación de DBO



a



b

Foto 5.22 Determinación de amoníaco

Tabla 5.3 Parámetros químicos de agua de entrada del filtro

Fecha	NT (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	PT (mg/L)	ALC (mg/L CaCO ₃)	DT (mg/L CaCO ₃)	Dca (mg/L CaCO ₃)
2012-01-17	78.00	56.80	20.00	0.73	29.80	47.00	69.00	43.00
2012-01-24	55.00	45.00	8.00	0.49	35.20	67.00	131.00	63.00
2012-02-07	51.00	43.00	7.00	0.78	37.20	80.00	150.00	95.00
2012-02-21	58.00	45.00	9.00	0.74	35.60	82.00	134.00	72.00
2012-03-06	65.00	58.00	6.00	0.67	33.50	85.00	145.00	94.00
2012-03-20	69.00	60.00	8.00	0.71	36.20	82.00	140.00	93.00
2012-04-03	70.00	59.00	9.00	0.80	35.80	80.00	142.00	94.00
2012-04-17	78.00	71.00	5.00	0.58	43.20	73.00	131.00	78.00
2012-05-01	111.00	106.40	5.00	0.47	41.60	43.00	190.00	100.00
2012-05-15	75.00	67.60	2.00	0.87	44.20	20.00	227.00	112.00
2012-05-30	83.00	63.20	17.00	0.69	34.90	54.00	200.00	104.00
2012-06-12	62.00	60.40	8.00	0.79	35.70	60.00	209.00	130.00
2012-06-26	122.00	113.20	7.00	0.88	51.80	79.00	204.00	74.00
2012-07-10	37.00	32.40	4.00	0.62	34.40	102.00	175.00	48.00
2012-07-24	19.00	8.30	7.00	0.44	15.50	104.00	140.00	75.00
2012-08-07	67.00	55.00	8.00	0.37	31.20	72.00	196.00	100.00
2012-08-21	56.00	47.00	6.00	0.38	33.70	46.00	188.00	116.00
2012-09-18	15.00	7.00	6.20	0.88	20.10	109.60	174.00	84.00
2012-10-02	13.00	7.00	4.10	0.66	27.60	116.40	172.00	66.00
2012-10-16	24.00	9.00	5.90	1.47	23.30	110.60	186.00	82.00
2012-10-30	32.00	10.30	6.00	1.02	4.20	63.00	146.00	68.00
2012-11-13	44.00	17.40	5.00	1.23	16.80	37.60	146.00	86.00
2012-11-27	42.00	27.40	5.00	1.01	20.90	46.40	158.00	92.00
2012-12-11	28.00	19.80	7.00	1.33	42.00	58.80	160.00	56.00

Tabla 5.4 Parámetros químicos del agua de la salida del filtro

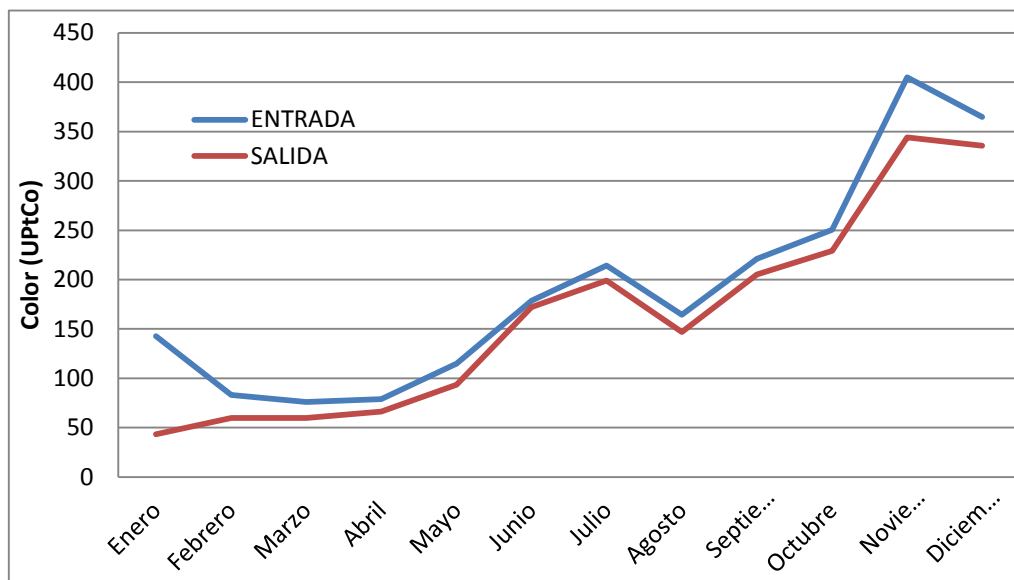
Fecha	NT (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	PT (mg/L)	ALC (mg/L CaCO ₃)	DT (mg/L CaCO ₃)	Dca (mg/L CaCO ₃)
2012-01-17	53.00	44.00	8.00	0.61	28.90	42.00	63.00	78.00
2012-01-24	52.00	45.00	4.00	0.55	33.10	62.00	122.00	59.00
2012-02-07	49.00	43.00	4.00	0.67	32.50	80.00	149.00	94.00
2012-02-21	48.00	45.00	2.00	0.58	35.60	79.00	112.00	69.00
2012-03-06	65.00	58.00	5.00	0.63	34.80	85.00	148.00	92.00
2012-03-20	67.00	60.00	6.00	0.56	31.80	81.00	179.00	93.00
2012-04-03	69.00	59.00	7.00	0.66	34.30	80.00	140.00	92.00
2012-04-17	78.00	71.00	6.00	0.51	35.80	68.00	121.00	72.00
2012-05-01	131.00	126.00	2.00	0.48	43.20	41.00	188.00	94.00

2012-05-15	71.00	59.20	0.00	0.70	45.60	18.00	234.00	110.00
2012-05-30	57.00	42.40	7.00	0.60	34.70	53.00	195.00	104.00
2012-06-12	54.00	46.40	9.00	0.78	35.80	60.00	196.00	92.00
2012-06-26	153.00	148.80	1.00	0.93	49.10	83.00	200.00	90.00
2012-07-10	28.00	19.60	0.00	0.58	34.60	102.00	172.00	48.00
2012-07-24	13.00	6.70	4.00	0.38	13.40	103.00	134.00	72.00
2012-08-07	62.00	54.00	6.00	0.61	34.80	64.00	195.00	102.00
2012-08-21	51.00	45.00	4.00	0.53	33.10	42.00	186.00	92.00
2012-09-18	27.00	5.20	8.00	0.68	19.80	108.00	168.00	72.00
2012-10-16	46.00	17.20	17.00	0.65	10.30	109.80	188.00	80.00
2012-10-30	36.00	4.20	8.00	0.91	6.90	62.80	134.00	70.00
2012-11-13	36.00	18.50	6.00	1.22	20.80	50.00	132.00	76.00
2012-11-27	33.00	14.20	3.00	1.09	21.30	47.60	152.00	96.00
2012-12-11	19.00	8.10	3.00	1.29	42.00	55.80	158.00	54.00

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Parámetros de campo

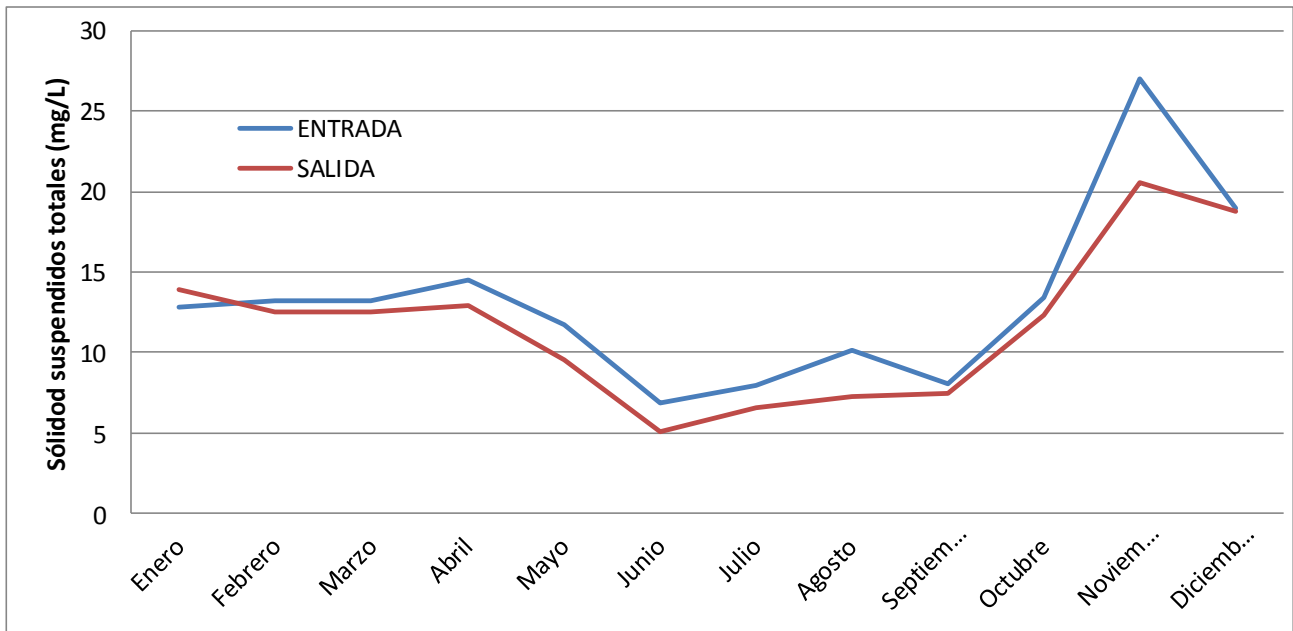
La determinación del color que se realizó corresponde al aparente. Tomando en consideración las líneas de tendencia que se muestran en la Gráfica 6.1, al inicio el color del agua de entrada se pudo establecer en 80 con una salida de filtro de 60 UPtCo, mostrando una remoción del 25%. Sin embargo, conforme avanzó la prueba se observó una tendencia de aumento, terminado en una concentración para el agua de entrada cercana a las 400 UPtCo y en la salida de 340 UPtCo, finalizando con una remoción del 15%.



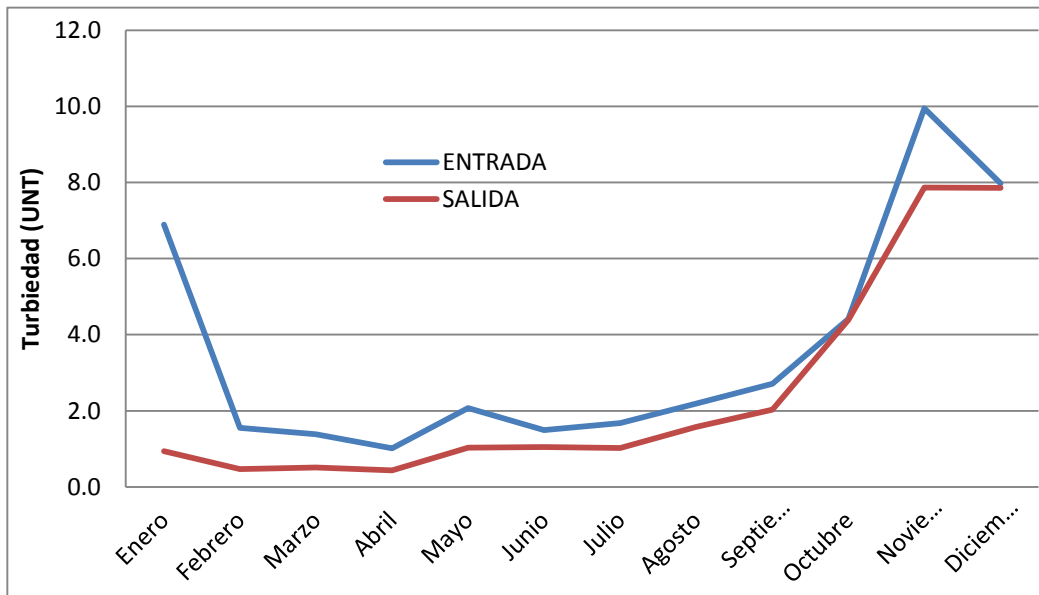
Gráfica 6.1 Color del agua de entrada y salida del filtro

Como se comentó con anterioridad después del mes de septiembre se cambió el material de filtración a esponjas de poliuretano, y es en éste mes que se observa un incremento importante en la concentración de color al pasar de 200 a casi 400 UPtCo en un periodo de tres meses (fin de año).

En la **Gráfica 6.2** se muestran las tendencias que presentaron los SST y ésta indica que conforme se realizó la prueba el filtro fue madurando y presentando una mejor remoción, esto fue a partir del mes de abril, al pasar de 14 a 7 mg/L. Sin embargo, en septiembre, cambio de tipo de material filtrante, los SST pasaron de 7 a 25 mg/L. A pesar de este incremento esta concentración está por debajo de los 80 mg/L, establecidos como criterio.



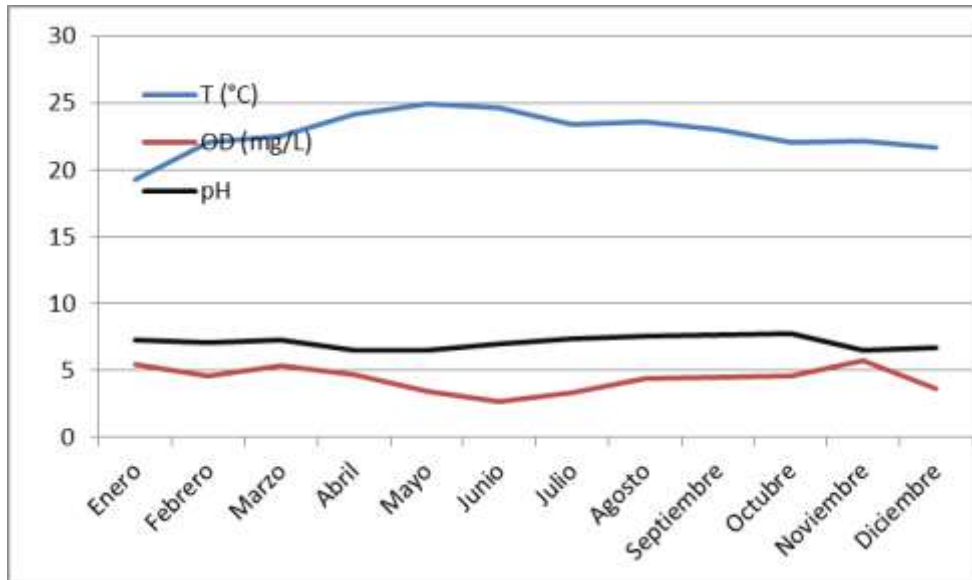
Gráfica 6.2 SST del agua de entrada y salida del filtro



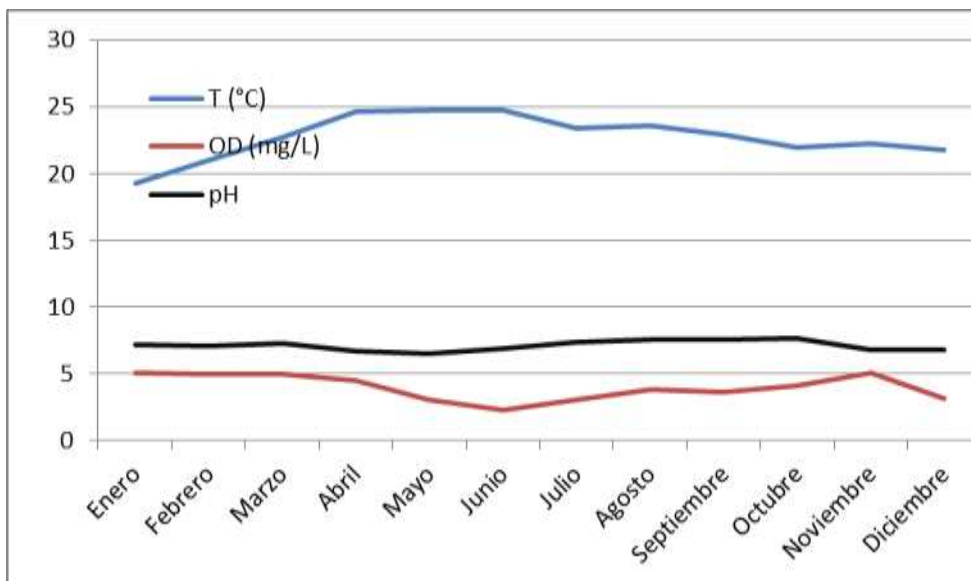
Gráfica 6.3 Turbiedad del agua de entrada y salida del filtro

En la Gráfica 6.3 se aprecia que la turbiedad hasta el mes de agosto fue menor a las 2 UNT, y que de septiembre a diciembre se incrementa hasta 10 UNT, esto como se ha venido mencionando es por el cambio de material filtrante.

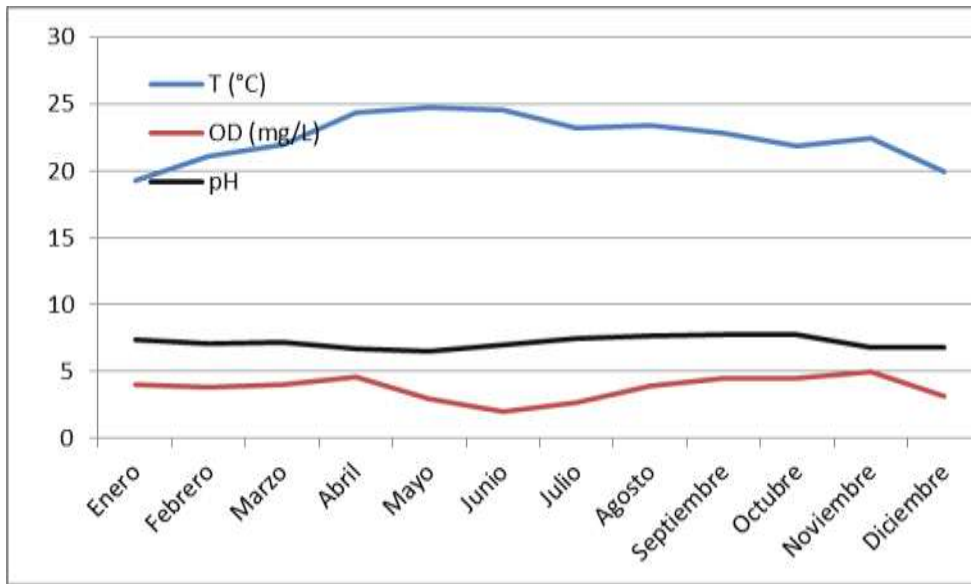
Las condiciones que tienen los tanques de peces en relación a pH, oxígeno disuelto y temperatura se muestran en las Gráfica 6.4, Gráfica 6.5 y Gráfica 6.6.



Gráfica 6.4 Comportamiento promedio mensual de pH, OD y temperatura en tanque 1



Gráfica 6.5 Comportamiento promedio mensual de pH, OD y temperatura en tanque 2



Gráfica 6.6 Comportamiento promedio mensual de pH, OD y temperatura en tanque 3

La temperatura del agua de 19 °C en enero pasó a 25 °C en los meses de abril, mayo y junio para después descender a 20° C en el mes de diciembre. Este parámetro tiene una influencia marcada sobre otros, como lo es el pH, el color y oxígeno disuelto (OD). Al existir un incremento en la temperatura se favorece el crecimiento de microalgas que dan un color verdusco característico al agua y además incrementan el pH de la misma, al producir alcalinidad, y disminuye la concentración del OD, debido a que su condición natural es gas. Además, se puede observar que no existe una diferencia significativa entre los tres tanque monitoreados con relación a la concentración de del OD. Lo antes descrito se puede observar claramente en la **Gráfica 6.5**, en la Gráfica 6.6 y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

6.2 Parámetros químicos

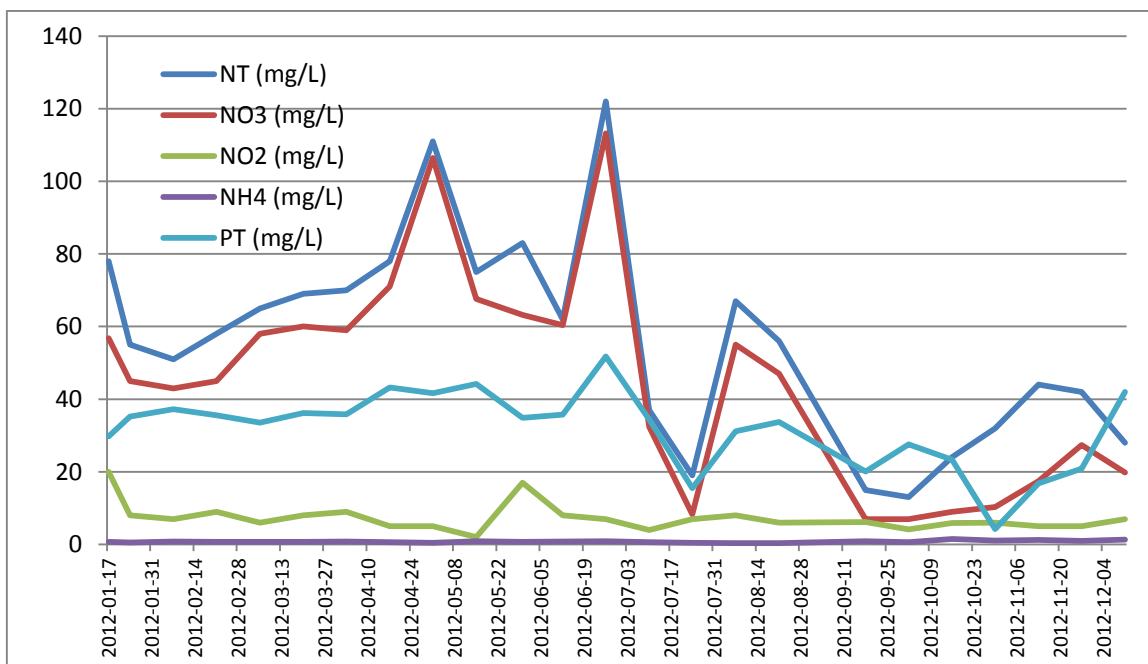
En relación a los parámetros químicos y de acuerdo a los datos que se proporcionan en la Tabla 5.3 y en la Tabla 5.4, se observó una tendencia de aumento de todos los parámetros analizados en los meses de más calor, abril, mayo y junio, esto debido a que existe una mayor evaporación de agua y se concentran. Esto hace que se reponga agua en el sistema, y por tanto las concentraciones disminuyen. Además, también favorece que la temperatura comienza a descender y la evaporación disminuye notablemente.

Otro aspecto a considerar es el efecto que tiene el incremento de la temperatura en los peces, ya que acelera su metabolismo y consumen más alimento, entre o tras cosas. Esto a su vez genera que también se incremente la concentración de nutrientes en el agua.

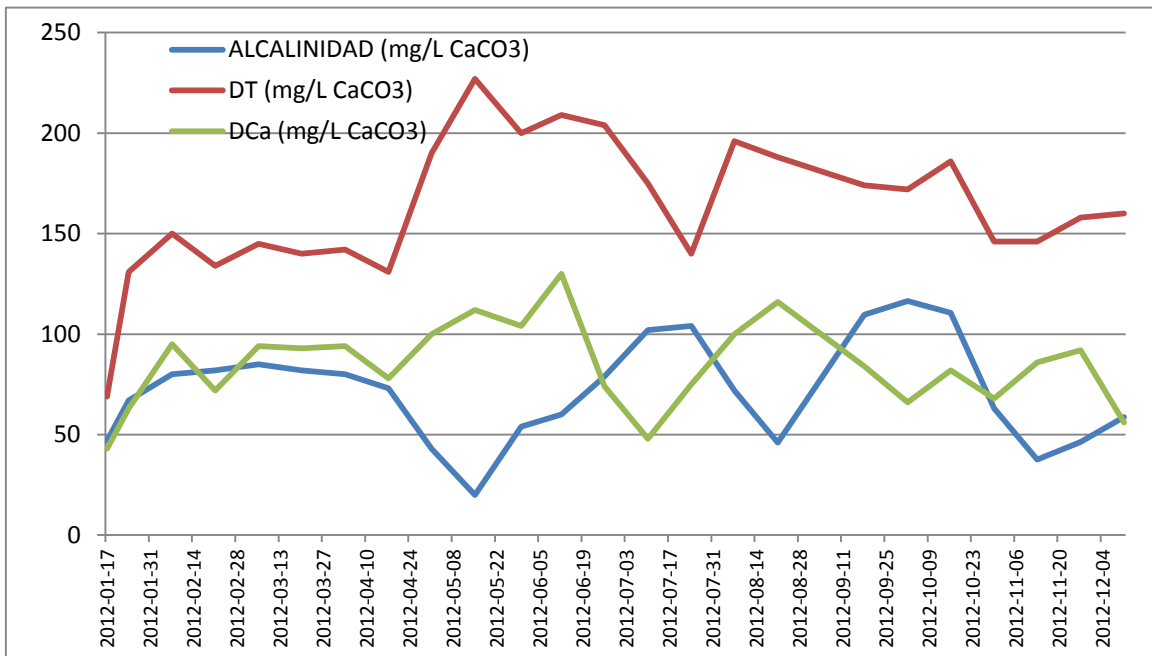
En general las concentraciones de nitrógeno amoniacal tanto como a la entrada como a la salida están por debajo de 1 mg/L. Es importante notar que en el sistema se da la nitrificación ya que los nitratos están presentes en una concentración muy parecida a la del nitrógeno total (Gráfica 6.7y Gráfica 6.9).

Las concentraciones de alcalinidad y de dureza total, muestran que el agua es de buena calidad y solo presentan la variación por temperatura que ya se han explicado (Gráfica 6.8 y Gráfica 6.10).

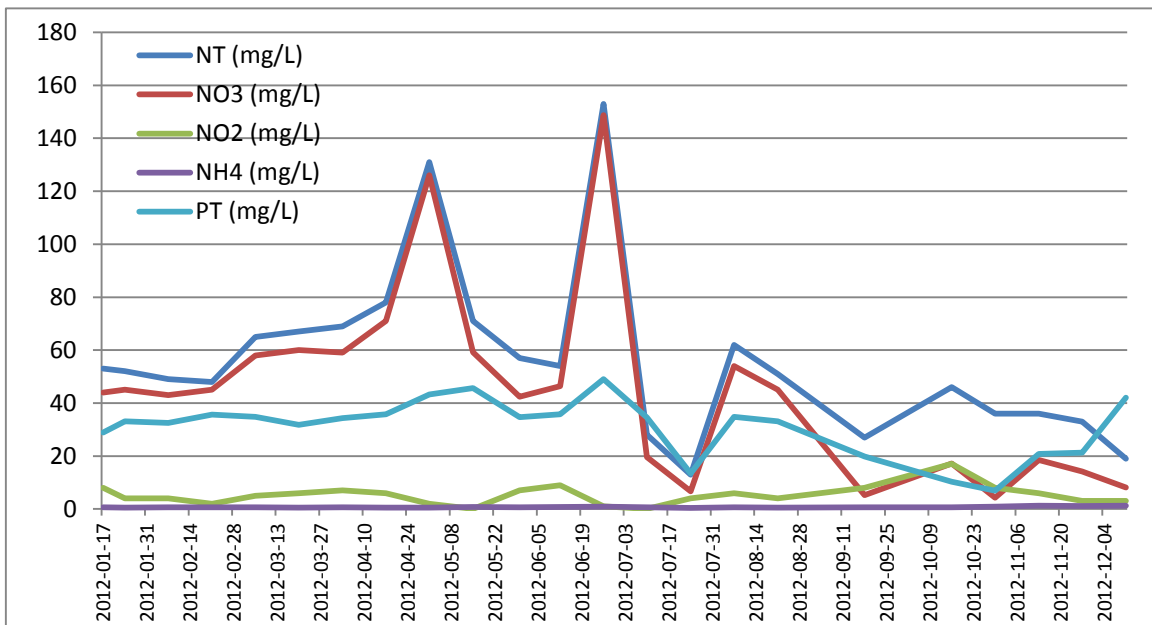
En general, los parámetros evaluados cumplen con los criterios establecidos en la Tabla 1.2 Criterios de calidad del agua para acuicultura.



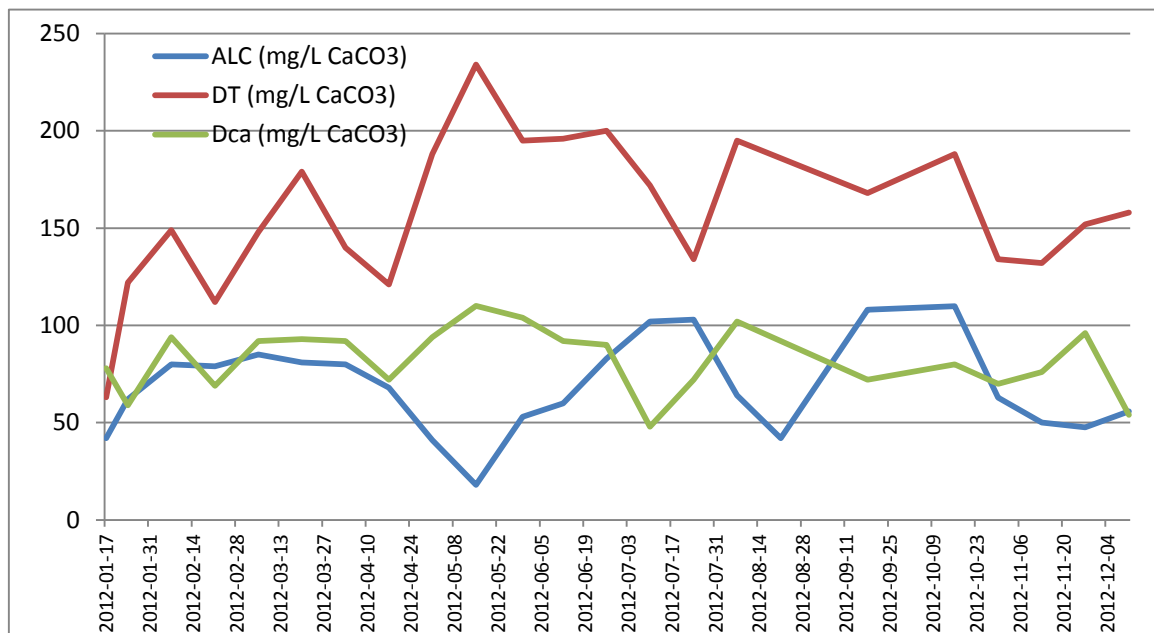
Gráfica 6.7 Nutrientes a la entrada de filtro



Gráfica 6.8 Alcalinidad y dureza a la entrada de filtros



Gráfica 6.9 Nutrientes a la salida de filtro



Gráfica 6.10 Alcalinidad y dureza a la salida de filtros

6.3 Elaboración de un artículo

Se elaboró un artículo que se expuso en el XXII Congreso Nacional de Hidráulica, en Acapulco, Guerrero, México en noviembre del 2012.

A continuación se presenta el artículo en cuestión.

DESARROLLO DE UN SISTEMA PILOTO DE APROVECHAMIENTO DE AGUA RESIDUAL TRATADA PARA CRÍA DE PECES DE ORNATO, CON DESCARGA CERO

Luciano Sandoval Yoval⁽¹⁾. Ingeniero químico por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Maestro en Ingeniería Ambiental por la UNAM, Especialista en Hidráulica en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Erika V. Miranda Mandujano. Ingeniero químico por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Maestra en Ingeniería Ambiental por la UNAM, Colaboradora en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Víctor Domínguez Martínez. Ingeniero químico por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Maestro en Ciencias por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Colaborador en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Luis Ángel Barrera Morteo. Ingeniero bioquímico por la Universidad Autónoma del Estado de Veracruz, Maestro en Ingeniería Ambiental por la UNAM, Colaborador en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Ana karen Rangel Barrios. Pasante en Ingeniería en Biotecnología pos la Universidad Politécnica del Estado de Morelos, Colaboradora en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Dirección⁽¹⁾: Paseo Cuahunáhuac No. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos; México - e-mail: lucsand@tlaloc.imta.mx

RESUMEN

En los recientes años en México esta tomando importancia la rama productiva de la acuicultura, la cual presenta un desarrollo económico para los productores de peces de ornato y de carne. Por lo tanto, un recurso valioso para el progreso de esta actividad es el agua, por lo que es importante considerar su calidad, ya que de ésta dependerá también la calidad del producto generado. Sin embargo, la agricultura compite abiertamente por el agua con la acuicultura, por lo que ésta, solo emplea casi siempre los excedentes de la primera y además con pésima calidad. Por lo anterior, una de las primeras acciones que se deben tomar en cuenta, es la de contar con la cantidad y calidad del agua requerida para mantener una producción en constante crecimiento.

Un primer paso para lograr esta acción, sería el implementar un sistema de tratamiento de agua que permita minimizar el consumo de la misma y que proporcione una calidad adecuada para que se reuse nuevamente, sin que altere la vida de los peces que se cultiven. Por lo que se propone realizar una adaptación a la tecnología de filtración en múltiples etapas desarrollada por el CINARA, además de emplear tezontle como medio de filtración de tal manera que sea de construcción sencilla y costos mínimos. El sistema propuesto a evaluar uno los conceptos del filtro grueso dinámico (FGD) y del grueso ascendente en capas (FGAC) para constituir un solo filtro, que operará con un flujo en forma ascendente.

Las pruebas consistieron en probar las tasas de filtración de 3, 5 y 10 m³/m² h para establecer que calidad de agua se produce y su efecto en el desarrollo de los peces. Los resultados muestran que conforme se aumenta la tasa la concentración de los parámetros a la salida del filtro también tienden a aumentar, pero sin que esto sea de importancia ya que se mantiene un agua de excelente calidad en el sistema, excepto por el fósforo, pero no se detectó un efecto en los peces. Además de que el tezontle probó ser un material de filtración eficiente, económico y de fácil adquisición. Algunos aspectos importantes son; que existió reproducción de peces en los estanques, se puede obtener un ahorro de agua del 278.75% en un periodo de operación de tres meses y que se evita la descarga constante de un agua rica en nutrientes y materia orgánica a los cuerpos superficiales, al ser un sistema de descarga cero.

PALABRAS CLAVE: Acuicultura, filtración, agua residual tratada, reuso, descarga cero.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura en México ha fomentado la creación de empleos directos e indirectos pues mientras que en el año 2000 eran de 18 mil 270 empleos, para 2009 la cifra se incrementó a 30 mil 272, lo que se representa una tasa media de crecimiento anual de 5.18%. Además, para 2009 se tenían tres mil 12 granjas formadas por 76 mil 527 hectáreas.

Ahora bien, el desarrollo de la acuicultura no tiene bien definidas aun sus condiciones de sustentabilidad, debido principalmente a factores como bajos niveles de bioseguridad en sus productos, falta de personal debidamente capacitado, instalaciones inapropiadas y la ausencia de técnicas adecuadas para el cultivo, así como desarrollo y comercialización de las especies. Estos factores son las causas principales de que la producción y comercialización de peces no alcance definitivamente los niveles deseados por los productores.

Es necesario impulsar la modernización de la planta productiva y los procesos de comercialización de peces de ornato de agua dulce, con el propósito de incrementar la producción nacional y propiciar la sustitución de importación de especies, lo cual generará mayor actividad en el mercado interno y creación de empleos.

El aumento y mejoramiento de la calidad en la producción nacional de peces de ornato de agua dulce, permitirá que los productores incursionen en mercados de exportación y en este sentido, México tiene la oportunidad de convertirse en uno de los principales proveedores de peces de ornato en Estados Unidos, uno de los mercados más importantes de este tipo de productos en el mundo.

Actualmente se comercializan cada año 43 millones de peces de ornato, de los cuales el 52 por ciento se producen en más de 250 granjas que se encuentran establecidas en 20 entidades de la República (entre las cuales Morelos es uno de los principales productores), mientras que el 48 por ciento se importa principalmente de Asia, a través de Estados Unidos y Sudamérica.

Por lo tanto, un recurso valioso para el progreso de esta actividad es el agua, por lo que es importante considerar su calidad, ya que de ésta dependerá también la calidad del producto generado. Sin embargo, la agricultura compite abiertamente por el agua con la acuicultura, por lo que ésta, solo emplea casi siempre los excedentes de la primera y además con pésima calidad.

Por otra parte, para poder darle el auge que requiere la acuicultura, es necesario que los productores empiecen a tecnificar sus unidades productivas, esto con la finalidad de poder satisfacer la demanda del mercado nacional. Así, una de las primeras acciones que se deben tomar en cuenta, es la de contar con la cantidad y calidad del agua requerida para mantener una producción en constante crecimiento.

Un primer paso para lograr esta acción, sería el implementar un sistema de tratamiento de agua que permita minimizar el consumo de la misma y que proporcione una calidad adecuada para que se reuse nuevamente, sin que altere la vida de los peces que se cultiven. Por lo que se propone realizar una adaptación a la tecnología de filtración en múltiples etapas desarrollada por el CINARA, además de emplear tezontle como medio de filtración (material que abunda en la zona y que es económico).

Es necesario que para lograr lo anterior se deben tomar en cuenta los criterios existentes en relación a la calidad de agua que se requiere en la acuicultura, sin embargo, la propia naturaleza de esta actividad hace casi imposible formular una lista definitiva de parámetros y concentraciones permisibles, de tal manera que sea útil para todas las especies de peces y condiciones ambientales y de producción. Por lo que en el mejor de los casos estas listas sólo son recomendaciones. La Tabla 1 proporciona los parámetros necesarios de calidad de agua para caracterizar el suministro potencial de agua y proporciona recomendaciones muy generales de criterios de calidad del agua para cada parámetro.

Tabla 1. Criterios de calidad del agua para acuicultura

Parámetro	Concentración (mg/L)
Alcalinidad (como CaCO ₃)	50 – 300
Aluminio	<0.01
Amoníaco (N- NH ₃ no ionizado)	<0.0125 (salmón)
Nitrógeno amoniacal total	
- Peces de agua fría	<1.0
- Peces de agua cálida	<3.0
Arsénico	<0.05
Bario	<5.0
Cadmio	
- Alcalinidad < 100 mg/L	<0.0005
- Alcalinidad > 100 mg/L	<0.005
Calcio	4 – 160
Dióxido de carbono	
- Especies tolerantes (tilapia)	<60.0
- Especies sensibles (salmón)	<20.0
Cloro	<0.003
Cobre	
- Alcalinidad < 100 mg/L	0.006
- Alcalinidad > 100 mg/L	0.03
Dureza total (como CaCO ₃)	>100
Cianuro de hidrógeno	<0.005
Ácido sulfhídrico	<0.002
Hierro	<0.15
Plomo	<0.02
Magnesio	<15.0

Parámetro	Concentración (mg/L)
Manganeso	<0.01
Mercurio	<0.02
Nitrógeno gas	<110% presión de gas total <103% como gas nitrógeno
Nitritos	<1.0 0.1 en agua blanda
Nitrato	0 – 400 o más
Níquel	<0.1
Oxígeno disuelto	>5.0
Ozono	<0.005
PCB's	<0.002
pH	6.5 – 8.5
Fósforo	0.01 – 3.0
Potasio	<5.0
Salinidad	Depende de la sal o especie de agua dulce
Selenio	<0.01
Plata	<0.003
Sodio	<75
Sulfato	<50
Azufre	<1.0
Sólidos disueltos totales	<400
Sólidos suspendidos totales	<80
Uranio	<0.1
Vanadio	<0.1
Zinc	<0.005

OBJETIVO

Establecer un sistema de tratamiento de agua residual proveniente de estanques de acuicultura que permita su reuso y una operación con descarga cero, sin que se afecte la calidad y productividad de los peces.

METODOLOGIA

1. Estado del arte de filtración y acuicultura.
2. Diseño y construcción del sistema de filtración y recirculación de agua.
3. Determinación de parámetros de control del sistema de filtración.
 - a) Se determinarán diariamente a la entrada y salida del filtro los siguientes parámetros: Color, Turbiedad y Sólidos Suspendidos Totales.

- b) En los estanques de peces se determinarán diariamente: Temperatura, pH y Oxígeno Disuelto.
- c) Se determinarán semanalmente a la entrada y salida del filtro los siguientes parámetros: Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno total, Fósforo total, Dureza total y Alcalinidad.
- d) Se evaluarán tres tasas de filtración: 3, 5, 10 m³/m² h. Cada una por un periodo de tres meses.

4. Análisis de resultados.

En las figuras 1 y 2 se muestra el arreglo del sistema de filtración y recirculación, así como la configuración del lecho filtrante, el cual se empacó con tezontle. Se tomo como referencia la tecnología de filtración en múltiples etapas, que se adaptó en una sola unidad de filtración de flujo ascendente.

En relación a la operación del sistema es relativamente sencilla, solo se debe verificar el gasto de agua a la entrada del filtro, que es equivalente a la tasa de filtración y ajustar la válvula correspondiente. Otro aspecto importante, es que la construcción del sistema es relativamente sencilla y práctica, debido a que la tubería es de PVC hidráulico, el contenedor del filtro es un tinaco comercial y el material filtrante de tezontle, que además, es fácil de conseguir y comercialmente económico.

En total el costo del sistema fue de \$ 37,000 (UD 2850), que incluye filtro, sistema hidráulico, bomba y cinco tanques.

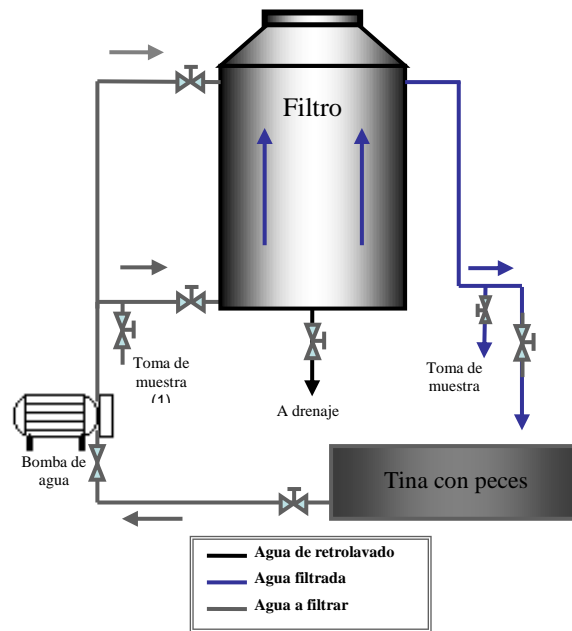


Figura 1. Sistema de filtración

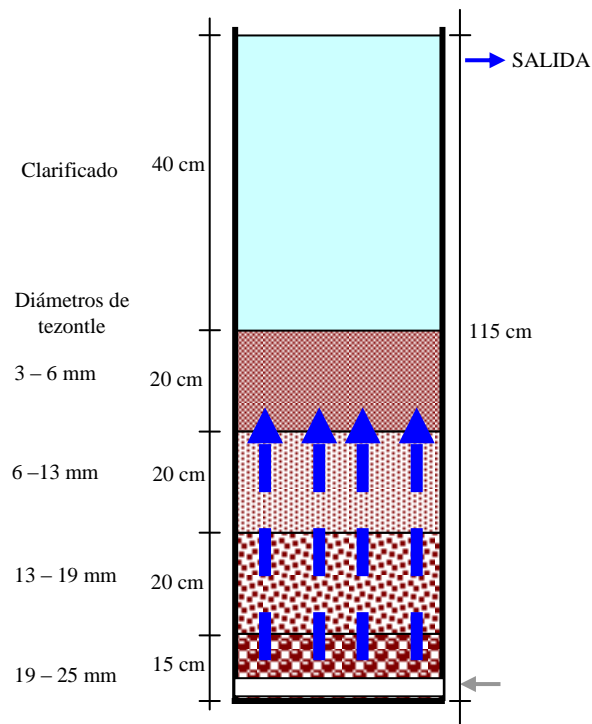


Figura 2. Arreglo del lecho de filtración

RESULTADOS

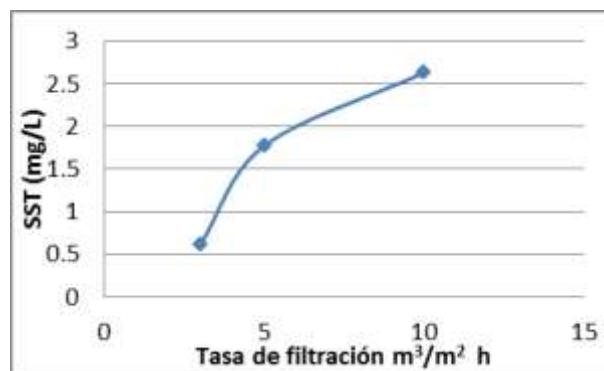
En la tabla 2 se muestran los resultados promedio de los parámetros químicos que se analizaron al agua de entrada y salida del filtro.

Tabla 2. Valores promedio de parámetros del agua de filtros

Parámetro	Criterio	Tasa filtración (m ³ /m ² h)		
		3	5	10
Entrada				
NH ₃ (mg/L)	< 3.00	0.33	0.33	0.25
NO ₂ (mg/L)	< 1.00	3.00	2.41	3.18
NO ₃ (mg/L)	0-400	17.26	20.72	10.47
PT (mg/L)	0.01 - 3.00	0.00	2.75	8.60
SST (mg/L)	<80.00	3.39	6.92	3.28
DBO ₅ (mg/L)	---	<3.9	<3.9	<3.9
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	>100	104	115	150
Alcalinidad T (mg CaCO ₃ /L)	50 -300	50	76	82
Turbiedad (UTN)	---	3.15	5.59	2.58
Color (UPtCo)	---	64.34	108.54	98.73
Salida				
NH ₃ (mg/L)	< 3.00	0.19	0.22	0.20
NO ₂ (mg/L)	< 1.00	3.09	1.50	2.68
NO ₃ (mg/L)	0-400	19.68	26.53	10.03
PT (mg/L)	0.01 - 3.00	0.00	3.10	8.48
SST (mg/L)	<80.00	0.61	1.77	2.63
DBO ₅ (mg/L)	---	<3.9	<3.9	<3.9
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	>100	53	78	80
Alcalinidad T (mg CaCO ₃ /L)	50 -300	33.56	73.29	85.83
Turbiedad (UTN)	---	1.25	1.20	1.58
Color (UPtCo)	---	64.34	108.54	98.73

Los resultados de los análisis químicos de los diferentes parámetros analizados, en términos generales indican que independientemente de la tasa de filtración siempre existió una remoción de los mismos. En relación a las concentraciones reportadas de los compuestos nitrogenados se puede establecer que no existe una acumulación en el sistema, por lo tanto se puede decir que se realiza una nitrificación y desnitrificación en el lecho filtrante. Hecho que favorece la operación del mismo en condiciones de recirculación continua de agua. Sin embargo, en fósforo se observa que conforme transcurrió el tiempo y se incrementó la tasa de filtración se presentó una acumulación del mismo, así de una concentración inicial de 0 mg/L al término de los 9 meses de evaluación la concentración final de fósforo fue de 8.48 mg/L, esto en el efluente del filtro. Valor que sobre pasa el criterio recomendado, pero que no presentó un efecto negativo en la actividad de los peces.

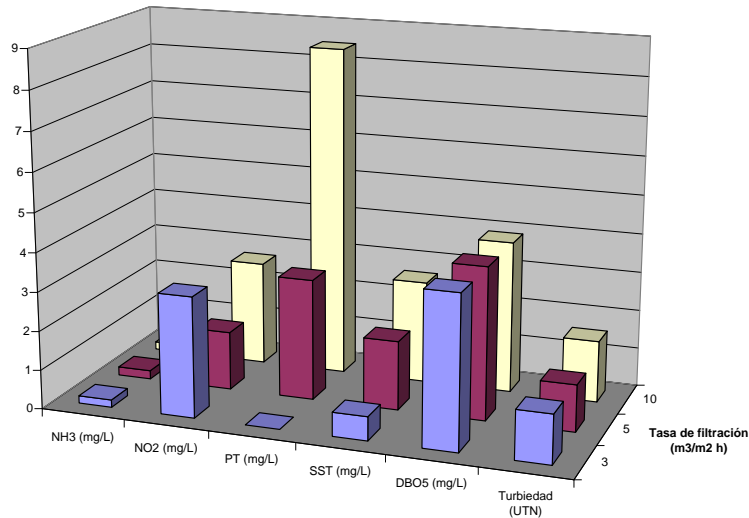
Los sólidos suspendidos totales, es un parámetro que se encuentra estrechamente ligado a otros dos, como lo son el color aparente y la turbiedad, por lo que en la medida en que aumente uno, los demás aumentarían y viceversa. Hecho que se observa claramente en el sistema evaluado. Como resultado relevante se puede destacar que los SST (2.63 mg/L en el efluente del filtro) están muy por debajo del valor recomendado en los criterios (80 mg/L), y se observa una ligera tendencia de aumento en su concentración conforme se incrementa la tasa de filtración, así a una tasa de 3 fue de 0.61, para una de 5 fue de 1.77 y para 10 m³/m² h de 2.63 mg/L, lo que indica una tendencia que en un momento se hace asintótica (Gráfica 1) y sugiere que se puede incrementar ampliamente la tasa de filtración sin afectar la calidad del agua en relación a los SST. No obstante, esto se deberá comprobar en campo. Este mismo comportamiento lo presentan el color y la turbiedad.



Gráfica 1. SST en el efluente conforme a la tasa de filtración

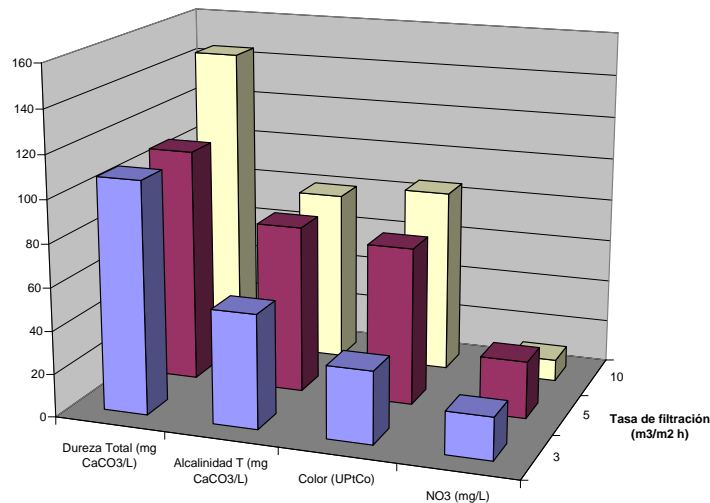
Un parámetro que no se considera en los criterios establecidos en la Tabla 1 y que es una medida de la materia orgánica presente en el sistema es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la cual como se puede observar en la Tabla 2, siempre fue menor al límite de cuantificación de 3.9 mg/L. Esto implica que el sistema de recirculación y en particular el de filtración operó de una manera eficiente al impedir una acumulación de materia orgánica en el agua.

En resumen se puede apreciar que conforme se aumenta la tasa de filtración la concentración de los parámetros a la salida del filtro también tienden a aumentar, como se puede apreciar en la Gráfica 2 y en la Gráfica 3, pero sin que este incremento sea de importancia, pero lo que realmente se debe destacar, es que se mantiene una agua en el sistema de excelente calidad, excepto por el fósforo, que como ya se comentó.



Gráfica 2. Concentración de parámetros en el efluente del filtro

En relación a las concentraciones obtenidas de alcalinidad y dureza total, éstas están muy cercanas a los valores bajos establecidos por los criterios, y dependen directamente de la fuente de abastecimiento. Sin embargo, también se observó una tendencia de incremento en las concentraciones conforme la tasa de filtración se incrementó (Gráfica 3). En lo que respecta a la dureza se puede explicar que es debido a la evaporación, permitiendo que con el tiempo se concentren las sales de calcio y magnesio, pero sin que esto sea un factor que altere la calidad del agua y por tanto el sistema acuícola.



Gráfica 3. Concentración de parámetros en el efluente del filtro

En la Tabla 3 se presentan los valores promedio obtenidos de los parámetros físicos que se determinaron en el agua de los tanques de los peces durante el desarrollo de toda la prueba.

Tabla 3 Valores promedio de parámetros físicos de los estanques de peces

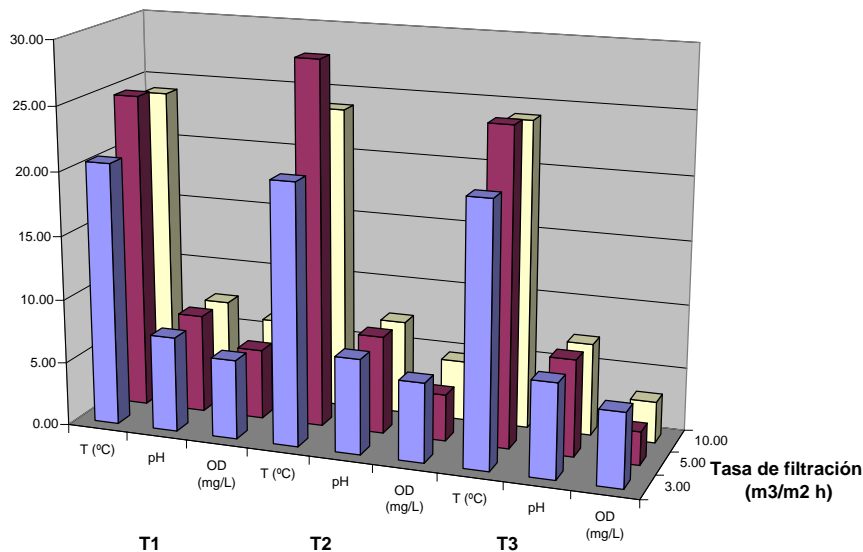
	T (°C)	pH	OD (mg/L)
Criterio	20.00	6.5-8.5	>5.00
TF (m³/m² h)	Tanque 1		
3.00	20.60	7.46	6.22
5.00	24.77	7.71	5.49
10.00	24.06	7.43	6.34
	Tanque 3		
3.00	20.42	7.45	6.20
5.00	24.75	7.66	3.65
10.00	23.81	7.36	4.70
	Tanque 5		
3.00	20.46	7.40	5.80
5.00	24.73	7.56	2.60
10.00	24.07	7.23	3.23

Un parámetro importante y que influye directamente en otros es la temperatura. Esta tiene los siguientes efectos:

1. El que aumente o disminuya la temperatura en el agua, medio en el cual los peces se desarrollan, impacta directamente sobre su metabolismo.
2. A temperaturas más cálidas en el agua el metabolismo de los peces es más acelerado, por lo que consumen más alimento generando más desechos, esto a su vez eleva las concentraciones de compuestos nitrogenados, de fósforo, de SST, de turbiedad y materia orgánica en el agua.
3. Al bajar o subir la temperatura del agua se modifican las concentraciones de oxígeno disuelto, que es más baja a mayores temperaturas y más alta a menores temperaturas.
4. A temperaturas más cálidas en el agua, existe una mayor producción de microalgas, lo que incrementa el pH, aumenta la concentración de sólidos suspendidos totales y color en el agua.

Lo anteriormente expuesto se ve comprobado al correlacionar los resultados que se mostraron en la Tabla 2 (agua de entrada) con los de la Tabla 3. Así, cuando se operó el sistema a una tasa de 3, coincidió con la época de invierno, lo que representa temperaturas alrededor de 20 °C, pero para la tasa de 5 se tenía la estación de primavera y además con los meses más calurosos, abril y mayo, por lo que se presentaron temperaturas promedio alrededor de 25 °C. Estas dos pruebas y épocas del año permiten visualizar claramente el efecto que tuvo la temperatura sobre los demás parámetros monitoreados, ya que se incrementó el pH, los SST, el color, los

nitratos y la turbiedad, y disminuyó la concentración de oxígeno disuelto. Por el contrario cuando se pasó a la tasa de 10, que corresponde a la época de lluvias, la temperatura disminuyó más o menos un grado, permitiendo que las concentraciones de OD aumentaran en el agua y disminuyendo los valores de los parámetros que aumentaron en la tasa anterior. En la Gráfica 4, se puede apreciar claramente la influencia de la temperatura sobre el pH y OD en los estanques que se monitorearon.



Gráfica 4. Parámetros monitoreados en los estanques

Es conveniente tomar en cuenta que durante los nueve meses de prueba solo se reponía el agua que se perdía por evaporación y por labores de retiro de los sólidos (sifoneo) que se depositaban en el fondo de los estanques y que no eran eliminados por el sistema de filtración. Así, el agua que se reponía más o menos mensualmente o de acuerdo a las necesidades representaba como máximo el 5% del volumen del sistema (800 litros). A esta cantidad de agua, se le deberá sumar la que se utilizó durante los dos retrolavados, que fue alrededor de 1 m³ cada uno, y que representa el 6.25% del volumen total del sistema.

En total el agua que se sustituyó en tres meses de prueba representó 170 m³ (21.25%) del agua del sistema. Al comparar éste con una condición normal de operación sin recirculación, donde los acuicultores cambian totalmente el agua cada mes, representa un empleo de agua del 2400 m³ (300%), por lo que el ahorro de agua equivalente fue de 2230 m³ (278.75%).

A este ahorro se le deberá agregar que la calidad del agua en un sistema de recirculación por lo general siempre es buena y se mantiene dentro de los niveles aceptables, cosa que no sucede en una operación normal donde la calidad del agua se va deteriorando con el tiempo.

En términos generales el objetivo de esta investigación, así como el desarrollo de un sistema de filtración y recirculación de agua se cumplió ampliamente, al permitirle al acuicultor mantener una calidad de agua constante en sus estanques, la cual no altera el desarrollo de los peces y sobretodo cuenta siempre con el agua necesaria. Además de proporcionar un ahorro de la misma. Tomar en cuenta que también se evita la descarga constante de un agua rica en nutrientes y materia orgánica a los cuerpos superficiales, al contar con un sistema de descarga cero.

CONCLUSIONES

1. El sistema de recirculación de agua de filtración en múltiples etapas, empacado con tezontle, permite mantener una calidad de agua excelente de acuerdo a los criterios establecidos para el cultivo de peces.
2. El incremento de la tasa de filtración, no tiene un impacto relevante en la calidad del agua del efluente, ya que los parámetros monitoreados cumplen con los criterios de calidad.
3. La temperatura tiene un efecto directo sobre la calidad del agua en los tanques.
4. Existe acumulación de fósforo en el agua sin existir una afectación sobre el desarrollo de los peces
5. El tezontle probó ser un material de filtración eficiente, económico y de fácil adquisición.
6. Existió reproducción de peces en los estanques.
7. El sistema de recirculación permite obtener un ahorro de agua del 278.75% en un periodo de operación de tres meses.
8. El sistema evita la descarga constante de un agua rica en nutrientes y materia orgánica a los cuerpos superficiales, al ser un sistema de descarga cero.

RECOMENDACIONES

- Probar tasas mayores de filtración, para determinar en que punto no se obtiene la calidad del agua establecida en los criterios.
- Probar periodos más amplios de retrolvado del filtro, para poder establecer cual puede ser el ahorro máximo de agua.

BIBLIOGRAFÍA

- 6 **Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (1992).** *Ciclo Tratamiento. Serie Filtración Rápida. Manual III: Teoría. Tomo III Filtración.* Perú.
- 7 **Cleasby, J.L., Baumann, E.R. (1962).** Selection of Sand Filtration Rates. *Jour AWWA.* May.
- 8 **Coordinación General de Minería. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (2000).** *Monografía Geológico-Minera del Estado de Morelos.* Editada por El Consejo de Recursos Minerales. Primera edición, México.

- 9 **Coordinación General de Minería, Secretaría de Economía (2010).** *Panorama minero del Estado de Morelos.* México.
- 10 **Michel B. Timmons, James M. Eg, Fred W. Wheaton, Steven T Summerfelt, Brian J. Vinci (2000).** *Sistemas de recirculación para la acuicultura.* Editado e impreso por Fundación Chile, Chile.
- 11 **Organización Panamericana de la Salud /CEPIS (2005).** *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas.* 06.174 UNATSABAR. Lima, Perú.

6.4 Impresión del manual de operación y mantenimiento del sistema acuícola

El manual “Desarrollo de un sistema de aprovechamiento de agua para cría de peces de ornato con descarga cero”, se editó y se imprimió, su contenido se muestra a continuación:

1. La acuicultura en el estado de Morelos.
2. Calidad e agua
3. Descripción del sistema
4. Operación
5. Mantenimiento
6. Estudio de caso
7. Bibliografía

En la Foto 6.1 se muestra la portada del manual. Este tiene como ISBN en formato impreso 978-607-7563-60-0, y en formato electrónico 978-607-7563-59-4.

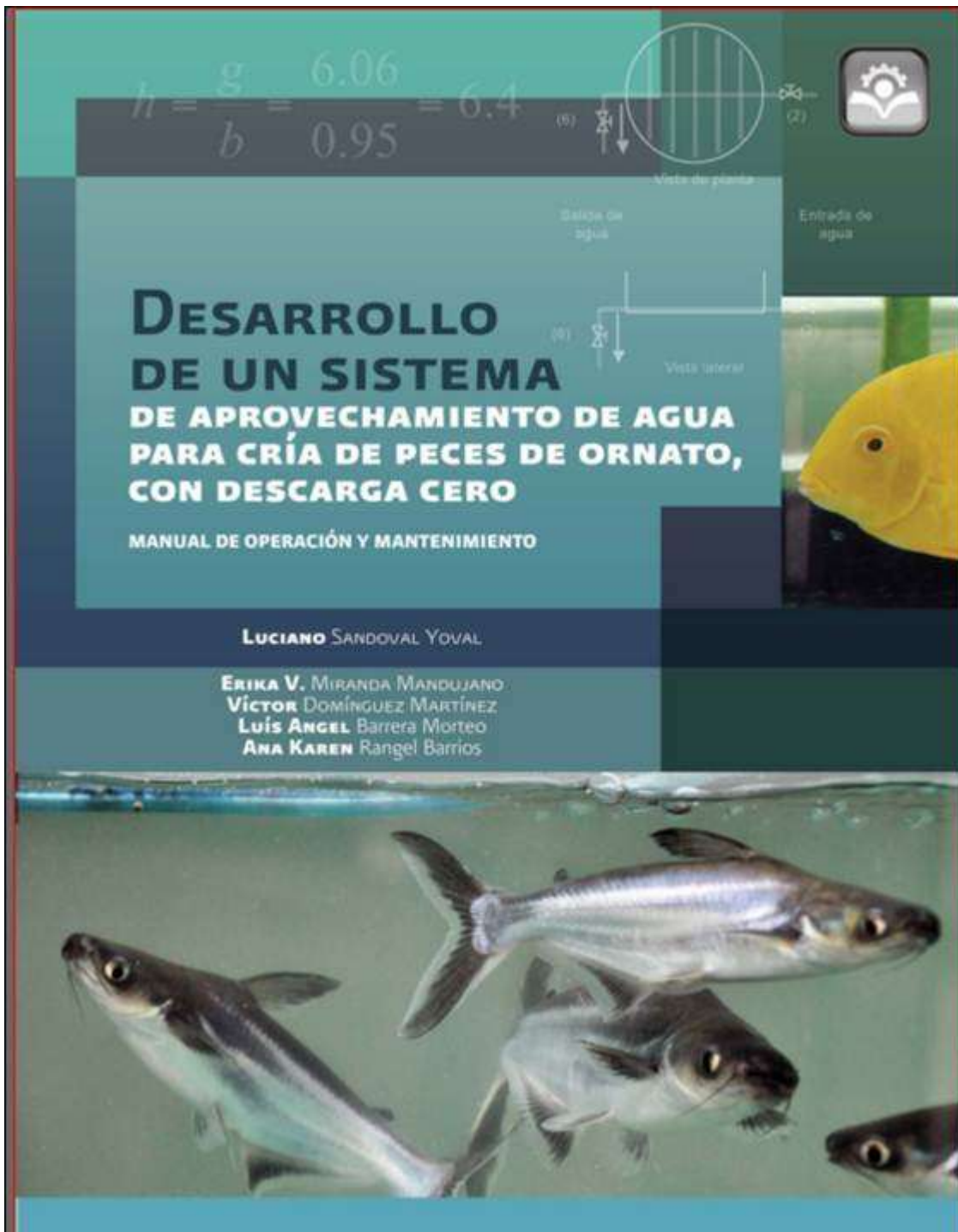


Foto 6.1 Manual de operación y mantenimiento del sistema

6.5 Curso de capacitación

El curso de capacitación no se impartió, debido a:

- a) La edición e impresión del manual requirió más del tiempo necesario. Físicamente se tuvo en el mes de octubre.
- b) No se podía hacer uso de la información hasta que los autores cedieron los derechos al Instituto. En este caso Ana Karen Rangel Barrios, que fue una colaboradora externa del Instituto, no se localizó hasta finales del mes de noviembre, momento en el que se realizaron los trámites requeridos. Por la cercanía del fin de año ya no se pudo programar el curso ya que solo se contaba con 15 días hábiles. Por lo tanto se programara para el siguiente año.

7. CONCLUSIONES

- El sistema de recirculación de agua con un proceso de filtración en múltiples etapas, permite mantener una calidad de agua excelente de acuerdo a los criterios establecidos para el cultivo de peces.
- La temperatura tiene un efecto directo sobre la calidad del agua en los estanques.
- El oxígeno disuelto en los tanques se mantiene entre 2 y 5 mg/L, así como el pH entre 6.5 y 7.7 unidades.
- Continúa la acumulación de fósforo en el agua, sin ser un problema para el desarrollo de los peces.
- El tezontle continúa siendo un material de filtración eficiente, económico y de fácil adquisición.
- No existió una afectación sobre el desarrollo de los peces.
- Se presentó un artículo en el “XXII Congreso Nacional de Hidráulica”, con el título “Desarrollo de un sistema piloto de aprovechamiento de agua residual tratada para cría de peces de ornato, con descarga cero”.
- Se editó e imprimió el manual “Desarrollo de un sistema de aprovechamiento de agua para cría de peces de ornato con descarga cero”.

8. BIBLIOGRAFÍA

<http://www.panoramaacuicola.com>
(Consulta 2012)