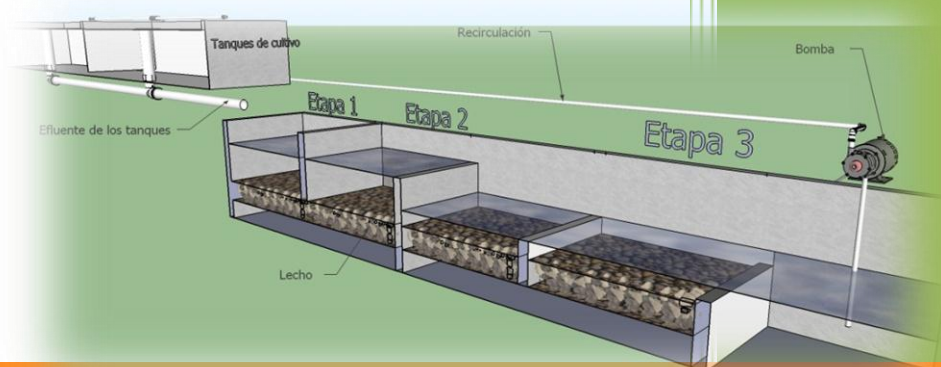


UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



EVALUACIÓN DE UN FILTRO BIOLÓGICO DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN EN UNA GRANJA ACUÍCOLA DE PECES DE ALTO VALOR COMERCIAL

TESIS QUE PARA OBTENER

EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA EL

P.I.C. FERNANDO VIVEROS VIVEROS

DIRECTOR DE TESIS

DOCTOR EN INGENIERÍA DE PROCESOS

JULIO CÉSAR ORANTES ÁVALOS

MORELIA MICHOACAN JUNIO 2013

Contenido

.....	0
1 INTRODUCCIÓN	6
2. ANTECEDENTES.....	8
2.1. ACUICULTURA	8
2.1.1. ACUICULTURA EN MÉXICO.....	9
2.1.2. BENEFICIOS DE LA ACUICULTURA	10
2.1.3. LA PISCICULTURA	11
2.1.4. GRANJAS DE TILAPIA	12
2.2. CALIDAD DEL AGUA Y TRATAMIENTO	14
2.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS	15
2.2.2. PROPIEDADES QUÍMICAS.....	16
2.2.3. OXÍGENO.	17
2.2.4. NUTRIENTES EN EL SISTEMA ACUÁTICO.	18
2.2.5. TRATAMIENTO.....	19
2.2.6 LOS RAS (RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEMS) Y EL BIOFILTRO DE LECHO SUMERGIDO.	20
2.3. FILTRO BIOLÓGICO	22
2.3.1. BIOFILTROS SUMERGIDOS.....	22

2.3.2 BIOPELÍCULA.....	24
2.3.3. COMPONENTES DEL SISTEMA.....	25
2.3.4. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA BIOPELICULA.....	26
2.3.5. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA BIOPELICULA.....	28
2.4. REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NITROGENO.....	32
2.4.1 NITRIFICACIÓN	32
2.4.2. DESNITRIFICACIÓN	33
3 OBJETIVOS	34
3.1. OBJETIVO GENERAL	34
3.2. OBETIVOS PARTICULARES	34
4. MATERIALES Y MÉTODOS	35
4.1.MODELO EXPERIMENTAL.....	35
4.2.BIOFILTRO	39
4.3. PROTOCOLO EXPERIMENTAL.....	40
4.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	42
5.ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	44
5.1. EVALUACION DE S.S.T.	44
5.2. EVALUACIÓN DE DQO	46
5.3. EVALUACIÓN DE NITRATOS	47

5.4. EVALUACIÓN DEL AMONIACO (NAT)	48
5.5. MONITOREO DE OXÍGENO DISUELTO	50
5.6. MONITOREO DE TEMPERATURA	51
5.7 CONCLUSIONES	53
6. REFERENCIAS	55

FIGURAS

Figura 2.1. Volúmenes de producción acuícola en México	11
Figura 2.2. Filtro de lecho sumergido.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.1. Estructura del sistema de recirculación y reactor.	35
Figura 4.2. Configuración del reactor biológico.	36
Figura 4.3. Plano Acotado de la zona de estanques.....	38
Figura 4.4. Configuración del reactor de los estanques interiores.	39
Figura. 4.5. Puntos de muestreo	40
Figura 4.5. Isoconcentración de OD	43
Figura 5.1. S.S.T. del reactor en estudio	44
Figura 5.2. DQO del reactor en estudio.....	46
Figura 5.3. Concentración de Nitratos del reactor en estudio.	47
Figura 5.4. Concentración de Nitrógeno amoniacal del reactor en estudio	48
Figura 5.5. Concentración de OD del reactor en estudio.	50
Figura 5.6. Temperaturas registradas en el reactor.....	51
Figura 5.7. Gráfica de concentraciones de NAT y temperatura en el biofiltro.	52

NOMENCLATURA

CRB	Contactores biológicos rotatorios (Biodiscos)
DQO	Demanda Química de Oxígeno
OD	Oxígeno disuelto
R ₀	Influente en el reactor
R ₁	Etapas 1 del reactor biológico
R ₂	Etapas 2 del reactor biológico
R ₃	Etapas 1 del reactor biológico
RAS	Sistemas acuícolas recirculados, por sus siglas en inglés: Recirculatingaquaculturesystems
SRA	Sistema de recirculación de agua
SST	Sólidos suspendidos totales

1 INTRODUCCIÓN

Uno de los recursos más valiosos e importantes para un país es el agua, ya sea de naturaleza salina en los mares y océanos o dulce en glaciares, ríos, lagos o acuíferos. Es elemental mantener la calidad de ésta y de sus reservorios para garantizar el abastecimiento por generaciones (Laxe *et al.*, 2004).

Una de las razones por las cuales es importante el cuidado del agua, es la cantidad de actividades económicas que se pueden practicar en ella, tal es el caso de la pesca, practicada casi desde el origen del hombre, ya sea con fines deportivos o de suministro alimentario.

Desafortunadamente, desde hace algunas décadas, se ha notado una dramática disminución de la diversidad de especies que se consumen como alimento, debido a la extracción irracional de los productos del mar, que ha llevado al límite la capacidad natural de autorecuperación de los ambientes acuáticos. La pesca intensiva de algunas naciones se está convirtiendo en un problema con fuertes implicaciones negativas a nivel mundial, regional, nacional y local. Las consecuencias ecológicas, económicas y sociales de la capacidad excesiva, han sido objeto de preocupaciones científicas, académicas y políticas. Como resultado, varias políticas de gestión e intervenciones han sido implementadas por naciones pesqueras, con diversos grados de éxito (FAO, 2007).

México es un país con una gran riqueza natural y cuenta con una gran extensión de litorales y una buena cantidad de cuerpos de agua dulce, lo que lo vuelve un país pesquero

y uno de los más importantes de América Latina en esta actividad. En México al igual que en otros países, la escasez de alimentos se hace más grave dado el incremento en la tasa de población, que generalmente alcanza índices muy altos. Consecuentemente, al padecer un régimen alimenticio deficiente en proteínas y vitaminas se presenta un campo propicio para el desarrollo de enfermedades con consecuencias político-sociales de inestabilidad, inseguridad, etcétera (Cifuentes *et al.*, 1995).

Con toda esta problemática es que México ha al igual que muchos otros países han volteado hacia una actividad acuática ancestral muy prometedora, que brinda la posibilidad de obtención de alimento y bienestar social. Se trata de la acuacultura y sus múltiples ramas (camaronicultura, piscicultura, etc.), una actividad que permite hacer uso más eficiente de los recursos y obtener mejores resultados, respetando al mismo tiempo al medio ambiente.

Resulta primordial el papel del ingeniero civil en esta actividad proveyendo de estudios y propuestas para la ubicación de granjas, el diseño y construcción de estructuras adecuadas para esta práctica, el mantenimiento de las mismas y el tratamiento de las aguas y los desechos provenientes de los cultivos así como su correcta reincorporación al medio ambiente. Así mismo es importante su participación en la administración y optimización de los recursos.

2. ANTECEDENTES

2.1. ACUICULTURA

Desde su comienzo el hombre ha desarrollado técnicas para satisfacer sus necesidades de alimento, como la caza, la recolección y la pesca; en cada una de ellas fue desarrollando cada vez mejor sus habilidades, hasta lo que conocemos hoy.

En la actualidad, dada la escasez de recursos y las imperantes crisis económicas y alimentarias que se viven, los métodos de producción de alimentos se han vuelto más eficientes que nunca. En la actividad pesquera, que en el pasado se practicaba solo el método de captura, en la actualidad se han desarrollado otras técnicas y tecnologías que permiten criar peces en cantidades tales que permitan satisfacer la demanda cada vez más creciente.

Al procesamiento, producción y venta de organismos acuáticos se le conoce como Acuicultura, esta actividad ha sido desarrollada según registros desde hace más de dos milenios en Japón y la antigua China. En la actualidad de alguna u otra forma la mayoría de los países practican esta actividad como medio de obtención de un buen porcentaje de sus necesidades alimentarias (Lemuset *al.*, 1997).

La acuicultura representa una actividad con bajo impacto ambiental lo que la hace una alternativa muy viable y ecológica, además se debe considerar que los cuerpos de agua naturales han disminuido en gran medida su capacidad de proveer especies acuáticas a precios rentables, lo que ha inclinado la balanza hacia las especies cultivadas en granjas.

La finalidad de la práctica de la acuicultura es lograr una intensificación técnica para proveer una solución a la demanda de alimentos de una población creciente. Con lo

cualposibilita que se superen los límites de productividad de los stocks salvajes. El proceso que consiste en extender los controles técnicos de las funciones fisiológicas tales como la reproducción, estados particulares del ciclo vital. Esta domesticación tiene lugar por medio de pequeños aumentos: entre la pesca y el cultivo completamente controlados.

No todos los sistemas concebibles técnicamente son viables, los más intensos no son necesariamente los más eficientes (Laxeet *al.*, 2004).

Más de un cuarto del total de la proteína animal consumida por el hombre es de origen acuático. Entre las diferentes regiones del mundo existe mucha variación en la procedencia de la proteína animal. Por ejemplo, en Asia, más de un 25% de esta proviene de peces mientras en Norteamérica y Suramérica, menos del 10% de la proteína animal proviene de fuentes acuáticas(Universidad Michoacana de San Nicolas de hidalgo, 2012)

Algunos investigadores y famosos líderes comerciales, han predicho que la acuicultura será una de las tres actividades económicas más redituables del actual milenio, ya que cada día las personas consumen más pescado o por lo menos piensan que deberían hacerlo (Timmonset *al.*, 2002).

2.1.1. ACUICULTURA EN MÉXICO

La acuicultura se ha visto incrementada en los últimos años en nuestro país, ya que ha venido a complementar la creciente demanda de productos acuáticos, tornándose en una buena alternativa en la producción de especies. Con el desarrollo de nuevas tecnologías se ha logrado bajar los costos de producción. Los volúmenes de producción acuícola en México se muestran en la figura 2.1.

2.1.2. BENEFICIOS DE LA ACUICULTURA

La acuicultura es una alternativa con grandes beneficios para cualquier país que implemente esta actividad económica, y es de gran remuneración para aquellos que apuestan e invierten en el futuro y el desarrollo de esta técnica y sus tecnologías.

Entre los beneficios de la acuicultura tenemos:

- 1) Uso productivo de tierras marginales
- 2) Conservación de los recursos naturales
- 3) Los productos acuícolas tienen alto valor comercial

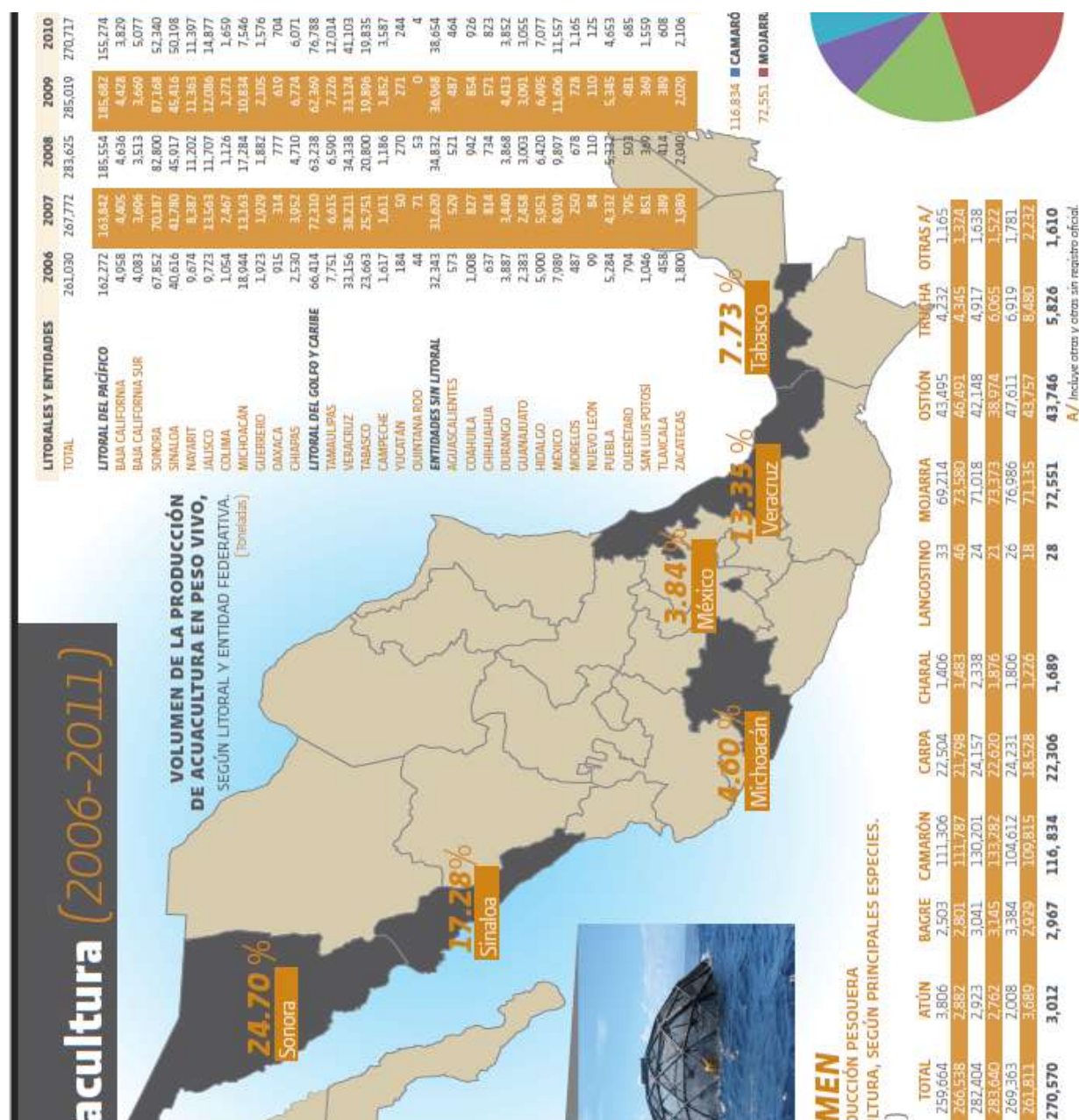


Figura 2.1. Volúmenes de producción acuícola en México

2.1.3. LA PISCICULTURA

La acuicultura como actividad multidisciplinaria, constituye una actividad productiva que utiliza los conocimientos técnicos y científicos, para lograr un cultivo eficiente de diversas especies animales y vegetales. Según la clase de organismos que se cultivan, la acuicultura

se divide en varias actividades, siendo uno de los más desarrollados la *piscicultura* o cultivo de peces.

La piscicultura, según sus objetivos se puede clasificar en diferentes formas, por ejemplo, la *piscicultura agrícola industrial*, la *piscicultura de repoblación*, la *piscicultura ornamental*, entre otras. Otra clasificación se basa en la temperatura del agua, debido a que las características fisiológicas de los organismos que se van a cultivar exigen diferentes tipos de agua y así se establece la *piscicultura de agua caliente* y la *piscicultura de agua fría*. Según el número de especies que se cultivan, la piscicultura puede ser un *monocultivo* y *policultivo*.

Según la intensidad con la que se practican los cultivos, la piscicultura se puede denominar extensiva e intensiva (Lemuset *al.*, 1997).

“Los desechos, tanto orgánicos como inorgánicos, de las piscifactorías pueden causar un enriquecimiento en nutrientes e incluso eutrofización en el caso de que las zonas destinadas al cultivo sean zonas semi-confinadas. Cerca de un 85% del fósforo, un 80 a 90% del carbono y un 50 a 95% del nitrógeno introducido al medio acuático, proviene de residuos alimenticios y del metabolismo de los peces (excreción y respiración) en cultivo” (Dormon, 2008).

2.1.4. GRANJAS DE TILAPIA

Los costos de producción de pescado, pollo, carne de res y carne de cerdo han sido comparados en varios estudios. Los costos iniciales de construcción de una granja piscícola son mayores que los de una granja de animales terrestres. Sin embargo, después de que el

estanque ha sido construido, el pescado es el más rentable de producir. Un estanque de una hectárea puede producir aproximadamente 2,500 kilogramos de pescado al año.

La Tilapia es una especie de origen africano que fue introducida a varios países de América Latina entre ellos México; su carne posee un alto valor comercial, lo que justifica la rentabilidad de su producción.

La Tilapia es una especie con gran capacidad de adaptación, lo que la hace muy conveniente para climas muy diversos; requiere relativamente de pocos cuidados, disminuyendo sus costos de crianza; posee una curva de crecimiento acelerado, sus hábitos alimenticios no son tan rigurosos y tiene gran tolerancia a habitar en condiciones extremas con aguas de diferentes calidades; se acopla fácilmente a vivir en altas densidades y alcanza rápidamente la talla de venta lo que la hace incrementar su costo beneficio.

Es importante notar que para esta especie, una alta concentración de nitrógeno amoniacal presente en el agua puede ser letal (Martínez, 2006).

2.2. CALIDAD DEL AGUA Y TRATAMIENTO

El agua es el fluido en el que las especies acuáticas deben vivir y del cual deben obtener lo que necesitan para su subsistencia, ya sea de la propia agua o de sus impurezas. El agua cuenta con varias características físicas y químicas, las cuales no se pueden menospreciar y que resultan extremadamente importantes para el desarrollo de la vida en ella (Fredrick, 1982). Afortunadamente muchas de estas propiedades pueden ser controladas y son pocos los parámetros que resultan ser críticos (Timmonset *al.*, 2002).

El éxito de una empresa acuícola comercial depende de la capacidad que tenga de brindarle a las especies que cultiva el agua en cantidad y calidad adecuada al menor costo posible.

Cada estanque de crianza se convierte en un complejo ecosistema individual en el cual debe existir el justo equilibrio entre las propiedades del agua y el número de organismos que alberga. Esto garantiza la salud y tasa de crecimiento de la especie reproducida. Los parámetros críticos con los que se debe tener mayor cuidado son la temperatura, el pH, los sólidos suspendidos y la concentración de oxígeno disuelto, amoníaco, nitritos, CO₂ y la alcalinidad. Cada parámetros es importante, pero es crucial la interacción existente entre ellos.

2.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Entre las muchas propiedades físicas del agua, en este caso solo habrá un enfoque hacia aquellas que son cruciales para mantener la vida de la Tilapia y que resultan ser manipulables para fines de producción comercial (Acuacultura, 2005).

Tabla 2.1. Propiedades físicas del agua de crianza de la tilapia

PROPIEDAD	RANGO	EFECTOS
FÍSICA	ÓPTIMO	
Temperatura	24-32 °C	Influye en el metabolismo de alimentos, crecimiento e inmunidad a enfermedades.
Oxígeno disuelto	3-10 mg O ₂ /L	Limita la producción y la capacidad de siembra, incrementa la susceptibilidad a enfermedades.
Salinidad	0 _{0/00} -40 _{0/00} (ppm)	Influye en el crecimiento.
pH	7-8	Influye indirectamente, excepto en casos extremos.
Turbidez	<100 (ppm)	Influye en la cantidad de luz que penetra agua que viven los peces afectando factores como metabolismo y crecimiento.

Otras propiedades como la densidad y la viscosidad del agua, aunque indirectas, por ser propiedades inherentes al agua también influyen en el desarrollo de la Tilapia (Martínez, 2006).

2.2.2. PROPIEDADES QUÍMICAS.

Para la existencia de la vida en el agua sus propiedades químicas y las sustancias que se encuentran disueltas en esta resultan ser de vital importancia y el balance o equilibrio entre ellas definirán el tipo de seres que serán capaces de habitar en dicho medio acuático.

El agua es una molécula muy abundante en los seres vivos, formada por hidrógeno y oxígeno. Vale la pena resaltar que la propiedad fundamental del agua es que es un dipolo. Esto quiere decir que presenta una región, la del oxígeno, con un diferencial de carga negativa y otra zona, la de los hidrógenos, con una diferencial de carga positiva. De esta propiedad química es que se derivan las propiedades bioquímicas más importantes de la molécula.

Cabe mencionar que el agua alcanza pesos moleculares relativamente altos que son la causa de que sea líquida a temperatura ambiente y tenga todas las propiedades típicas de un fluido.

En el caso del agua para la piscicultura debe tenerse cuidado más bien con las sustancias químicas que se encuentran disueltas en esta y con la concentración de estas, ya que pueden resultar tóxicas para los peces.

2.2.3. OXÍGENO.

En este caso, el oxígeno del agua que nos interesa es aquel que se encuentra disuelto en el agua (OD). La disolución del oxígeno en el agua se logra por difusión del aire del entorno, la aireación del agua que ha caído sobre saltos o rápidos y como un producto de desecho de la fotosíntesis.

Los peces y los animales acuáticos no pueden diferenciar el oxígeno del agua (H_2O) o de otros compuestos que contengan oxígeno. Solo las plantas verdes y algunas bacterias pueden hacerlo a través de la fotosíntesis y procesos similares. Virtualmente el oxígeno que nosotros respiramos es producido por las plantas verdes. Un total de las tres cuartas partes del oxígeno de la tierra es producido por el fitoplancton en los océanos.

La solubilidad del oxígeno en el agua es inversamente proporcional a la temperatura del agua, así pues si el agua está demasiado caliente no habrá suficiente oxígeno en el agua. Cuando hay muchas bacterias o minerales acuáticos en el agua, forman una sobrepoblación que va a consumir el oxígeno disuelto en grandes cantidades (Lenntech, 1998).

2.2.4. NUTRIENTES EN EL SISTEMA ACUÁTICO.

Los nutrientes requeridos por los peces para crecimiento, reproducción, y otras funciones fisiológicas son semejantes a aquellos requeridos por las especies terrestres. Los peces necesitan consumir proteína, minerales, vitaminas y fuentes energéticas. Los nutrientes pueden venir desde fuentes acuáticas naturales o de dietas preparadas.

En un ecosistema acuático al igual que en el resto de los ecosistemas, ocurre un flujo de masa y de energía y entre este flujo se encuentra la circulación de nutrientes, que son aquellos que permiten a los seres vivos que habitan en el medio acuático desempeñar sus funciones fisiológicas.

La cantidad de nutrientes disponibles en el agua condicionaran la cantidad de biomasa existente en ella y el número de especímenes que podrán habitarla. La cantidad de materia orgánica y de nutrientes residuales aunque bien son utilizados por otros organismos y microorganismos en ocasiones resultan ser factores contaminantes del medio.

En un sistema de cultivo de peces es necesario implementar algún método y tecnología para lograr retirar los nutrientes residuales del agua en la que viven los organismos de cultivo, para brindarles a través de un agua de buena calidad las mejores condiciones para su desarrollo(Pokniak R., 1997).

2.2.5. TRATAMIENTO.

Hoy la acuicultura a nivel mundial se encuentra en franco crecimiento, según proyecciones de FAO en el año 2015 la producción proveniente de la acuicultura será de 74 millones de toneladas. Para lograr la sustentabilidad es necesario intensificar los cultivos y gran parte del éxito depende del desarrollo de métodos óptimos para mejorar la calidad del agua de una forma cada vez más rentable. Valiéndose de tecnología como sistemas de recirculación de agua (SRA) y tratamiento de la misma, optimizando un recurso tan valioso.

La utilización de la tecnología en el tratamiento del agua tiene como ventajas: un monitoreo y control constante de las variables físico-químicas y sanitarias del agua, la reutilización del agua, producciones de altas densidades y como desventajas: el alto costo y necesidad de mano de obra calificada.

El uso de esta tecnología se limita en cierta medida, a países desarrollados como: Estados Unidos, Japón y los países europeos como: Noruega, España, Alemania, Francia y otros.

Cabe destacar que países en vía de desarrollo como: Chile, México, Brasil, Ecuador, Tailandia e Indonesia utilizan esta tecnología en diferentes etapas de cultivo.

El tratamiento del agua en acuicultura persigue la eliminación de sustancias inertes, la destrucción de microorganismos patógenos y facilitar intercambios de gas entre la fase líquida y la gaseosa.

Aireadores y Oxigenadores: Para la acuicultura intensiva y la piscicultura es prudente mantener el agua entrante tan próxima como sea posible a la saturación total de OD (100

%), quiere decir a su máxima solubilidad a una dada temperatura (Egna y Boyd, 1997). Sin duda, una simple aireación es el tratamiento del agua más empleado en acuicultura.

La elección del material de aireación y de oxigenación se hará de acuerdo a:

- las instalaciones existentes (superficie de agua, superficie de estanques, tiempo de renovación, altura del agua, bombas, etc.)
- al tiempo de utilización por año y consecuentemente su amortización
- los requerimientos de suministro de oxígeno, en función de su eficiencia de transferencia y del rendimiento energético

Filtración: La utilización de los filtros en la acuicultura, tiene como objetivo la eliminación de sustancias y organismos indeseables en el agua de cultivo. Existen cientos de filtros diferentes en el mercado mundial. La selección del tipo correcto para un uso específico, requiere del conocimiento de los diferentes tipos de filtros y sus principios básicos de operación. Clasificación de los filtros: filtros mecánicos, filtros de arena, filtros de gravedad, filtros químicos y filtros biológicos (Biofiltros).

2.2.6 LOS RAS (RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEMS) Y EL BIOFILTRO DE LECHO SUMERGIDO.

Los Sistemas acuícolas recirculados RAS por sus siglas en inglés, son la alternativa tecnológica que permite la mayor intensidad en el cultivo de peces. El sistema funciona haciendo circular una cantidad de agua a través del sistema reciclando el mayor porcentaje de esta, con lo que se requiere una mínima reposición de los niveles. Los residuos generados en el sistema son filtrados y removidos (Merino y Sal, 2007).

Un sistema de recirculación consiste en los siguientes componentes: una cierta cantidad de depósitos de agua para los peces, una unidad de tratamiento del agua, unas bombas y unas tuberías para el suministro de agua así como para su retorno. El corazón del sistema es la unidad de tratamiento de agua que consiste en un biofiltro de lecho sumergido (Timmon *et al.*, 2002).

2.3. FILTRO BIOLÓGICO

Hay mucha polémica sobre cuál es la tecnología de filtro biológico más apropiada para aplicaciones acuícolas y piscícolas intensivas. El biofiltro ideal sería el que pudiese remover el 100% del amoníaco de la alimentación, no producir nitrito, requerir de poca superficie, usar un medio de soporte barato, no requerir presión de agua ni mantenimiento para operar y no capturar sólidos. Desgraciadamente, no hay un biofiltro que cumpla con todas esas características, cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas, por lo que cada tipo tendrá diferentes áreas de aplicación. Los biofiltros pueden ser clasificados de la siguiente forma:

2.3.1. BIOFILTROS SUMERGIDOS

Consiste en un lecho de medio de soporte sobre el cual se desarrollan las bacterias, entre ellas las nitrificantes, a través del cual pasa el agua residual ya sea en un flujo ascendente o descendente pero siempre sumergido en el agua razón por la que recibe su nombre(Figura 2.2). Los sólidos se pueden acumular dentro del filtro sumergido, junto con la masa celular producto del crecimiento de bacterias, este proceso puede eventualmente bloquear los espacios vacíos, y entonces, en una operación a largo plazo, debe usarse algún mecanismo para desaguar los sólidos del filtro. Tradicionalmente se usan medios de gran tamaño, como roca partida uniformemente por sobre los 5 cm de diámetro o de plástico por sobre los 2.5 cm de diámetro, para proveer grandes espacios vacíos para prevenir el atascamiento. Los inconvenientes de este tipo de filtros incluyen problemas de

bajo OD y acumulación de sólidos, por estar muy recargados de materia orgánica y de la dificultad de retroenjuague (Merino y Sal, 2007).

Una reciente variación del biofiltro sumergido, dio lugar a lo que se denominó biofiltro de lecho móvil o dinámico.

Otros tipos de biofiltros utilizados en la acuicultura son:

- *Biofiltros percoladores
- *Contactadores biológicos rotatorios (CRB)
- *Filtros de gránulos sintéticos
- *Biofiltros de lecho fluidizado

2.3.2 BIOPELÍCULA

Uno de los primeros estudios sobre biopelículas data de aproximadamente 1943 por un científico llamada Zobell.

Las células microbianas se adhieren fuertemente a casi cualquier superficie sumergida en un medio acuático. Las células inmóviles crecen, se reproducen, y producen polímeros extracelulares los cuales frecuentemente se extienden desde la célula hasta la matriz la cual provee la estructura a la cual se fijará la película biológica(Characklis y C.Marshall, 1990).

Una película biológica consiste en células inmovilizadas a un sustrato y frecuentemente embebidas en una matriz de polímero orgánico de un origen microbiano.

Las películas pueden consistir en más de una sola capa de células o pueden ser tan espesas como entre 300 y 400 μm , como en las manchas de algas. Una película espesa puede contener ambos ambientes, tanto el aerobio como el anaerobio, debido a las limitaciones de difusión de oxígeno a través de la biopelícula.

En el caso más simple, las películas están compuestas de células microbianas y sus productos. La biopelícula generalmente es tan absorbente y porosa que llega a ser superior o igual a un 95% agua en su estructura. Como resultado, muchas de las películas observadas en el agua consisten en una gran fracción de materiales absorbidos y atrapados tales como solutos y partículas inorgánicas (Characklis y C.Marshall, 1990).

2.3.3. COMPONENTES DEL SISTEMA.

Se pueden definir hasta cinco componentes dentro de un sistema de biopelícula. El sustrato, la base de la película, la superficie de la película, el volumen líquido, y el volumen gaseoso. Cada componente está caracterizado por al menos una fase ya sea líquida, sólidas o gaseosa.

El sustrato representa un papel principal en los procesos en la biopelícula durante las etapas principales de la acumulación y puede influir en la cantidad de acumulación de células tanto como la distribución inicial de la población de las mismas. El sustrato generalmente es impermeable como metales, rocas o materiales plásticos.

Algunas de las aplicaciones más importantes de la biopelícula en la ciencia y la tecnología están encaminadas a resolver problemas de ingeniería, de biología, en el campo de la medicina entre muchas otras disciplinas.

La biopelícula realiza funciones de muchos tipos en el ambiente natural y moderadamente en algunos sistemas de ingeniería biológicas. Por ejemplo, la biopelícula es responsable de remover las partículas disueltas de algunos contaminantes en corrientes naturales y en plantas de tratamiento de aguas residuales. Y es esto último el enfoque que más nos interesa sobre la biopelícula dentro de los propósitos de esta investigación.

POLISACARIDOS ESPECÍFICOS.

Polisacáridos especiales, alguna vez llamados polisacáridos antígenos, anagrama de bacterias individuales específicas. Comúnmente azúcares como la glucosa, la lactosa y

algunos tipos de ácidos son típicos constituyentes de los polisacáridos específicos.(Characklis y C.Marshall, 1990).

POLISACARIDOS NO ESPECÍFICOS.

Los polisacáridos no específicos son encontrados en una variedad de cepas bacterianas y son estructuralmente diferentes y generalmente más simples que los polisacáridos específicos. Muchos de ellos son homo polisacáridos, conteniendo únicamente un monómero.

Los polímeros extracelulares microbianos también son importantes en los fenómenos de las biopelícula durante la interacción inicial entre una célula bacteriana y el sustrato.

Presumiblemente, la absorción irreversible o la adhesión está ampliamente determinada por las propiedades físicas de las macro moléculas en la superficie celular (Characklis y C.Marshall, 1990).

2.3.4. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA BIOPELICULA.

Las películas están compuestas por dos partes primordialmente las células microbianas y las sustancias poliméricas extracelulares. Las especies microbianas y su morfología tanto como la composición de las sustancias poliméricas extracelulares están ampliamente determinadas por las propiedades físicas de la biopelícula. Debido a esto, la biopelícula puede ser considerada como un gel polimérico orgánico con microorganismos vivos atrapados en él.

Las propiedades de los polímeros extracelulares de la biopelícula aún no son conocidas, como tampoco lo es la función ecológica de la matriz polimérica.

Las propiedades físicas de estos polímeros, principalmente los polisacáridos, pueden ser críticos para el entendimiento del comportamiento físico y fisiológico de las biopelícula. Basados en su composición química, su especificidad antigénica, y modo de biosíntesis, las bacterias polisacáridos son divididas normalmente en dos grupos, es decir polisacáridos específicos y no específicos.

2.3.5. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA BIOPELICULA.

Las propiedades químicas y físicas de la biopelícula están relacionadas a la de la mayoría de los componentes. La matriz de polímero extracelular puede acumular entre un 50 y 90% del carbono orgánico de la biopelícula. La parte microbiana extracelular y los polímeros celulares superficiales importantes en los fenómenos de la biopelícula al menos por dos razones. La primera, la interacción entre las células bacterianas y el sustrato u otras bacterias están determinados en gran medida por las propiedades físicas de las macro moléculas de la superficie celular. Segundo, la presencia de polímeros extracelulares es responsable de la integridad de la biopelícula. (Characklis y C.Marshall, 1990).

ESPESOR DE LA BIOPELICULA.

El espesor de la biopelícula es comúnmente una característica muy importante en el análisis de los procesos de ésta, ya que permite calcular la longitud de difusión y es necesario para calcular la resistencia de fricción del fluido y la resistencia de transferencia de calor. El espesor de la biopelícula puede variar considerablemente debido al sustrato dado y las características morfológicas de la biopelícula. El espesor de la biopelícula es también función de la edad de ésta. Comúnmente se puede decir que algunas biopelículas llegan a tener espesores que van desde unos cuantos micrómetros hasta varias decenas de milímetros; el espesor de la biopelícula está plenamente ligado con su naturaleza (Orantes, 2001).

DENSIDAD DE LA BIOPELICULA.

Una correcta medición de la masa densa de la biopelícula está directamente relacionada con la certeza en la medición del espesor de la misma; dado que las densidades reportadas deben ser consideradas en relación a la técnica de medición utilizada para la determinación del espesor. La densidad de la masa de la biopelícula dependerá en gran medida del crecimiento de algún tipo de microorganismo bacteriano en específico y la densidad de población en que éste se desarrolla.

PROPIEDADES DE TRANSPORTE.

Las propiedades de transporte de la biopelícula son de importancia crucial en la cuantificación de los procesos de momentum, calor, y transferencia de masa en el sistema de la biopelícula(Characklis y C.Marshal, 1990).

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.

La conductividad térmica refleja la cantidad de calor que es conducido a través del material en el cual existe un gradiente de temperatura. Una gran conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor. La conductividad térmica de una biopelícula de cultivo mixto ha sido reportada por Characklis que es la misma que la del agua, lo cual no es de sorprender considerando el alto contenido de agua de la biopelícula (Characklis y C.Marshal, 1990).

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS.

Las biopelículas no son uniformes espacialmente, sino que ha sido observado que tienen una distribución muy poco uniforme y desordenada (Charaklis y Marshal).

POROSIDAD DE LA BIOPELICULA.

La porosidad indica la irregularidad volumétrica de la estructura de la biopelícula lo que permite la presencia de canales de agua que conectan la parte profunda con la fase líquida (Characklis y C. Marshal, 1990).

La porosidad llega a tener una variación entre el 84 y el 93% en las capas superficiales y entre 67 y 68% en las capas más profundas (Orantes, 2001).

DESARROLLO DE LA BIOPELICULA.

El desarrollo de la biopelícula está determinado por diversos procesos, los cuales pueden ser positivos. La fijación, la división celular y la producción de polímeros con negativos como son el desplazamiento o la muerte celular. Cuando hay cambios en el balance de estos procesos se pueden tener alteraciones en las propiedades estructurales en la biopelícula por ejemplo en la porosidad, la compactación y la rugosidad (Orantes, 2001).

DESPRENDIMIENTO DE LA BIOPELICULA.

El espesor de la biopelícula va aumentando en tanto se suministren los nutrientes necesarios para los microorganismos se difundan al interior de la biopelícula. Cuando hay limitación de nutrientes los microorganismos utilizan algunos compuestos celulares como

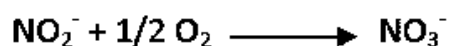
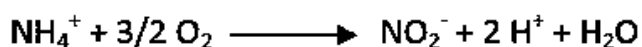
reserva de alimento, pero cuando se agotan empiezan a consumir los polímeros extracelulares. Estos polímeros dan gran resistencia a la matriz celular, así que al ser consumidos se pierde adherencia y la biopelícula puede ser desprendida y arrastrada por el flujo de agua. Posteriormente se tendrá un fenómeno de regeneración de la biopelícula (Moreau *et al.*, 1994)

2.4. REMOCIÓN BIOLÓGICA DE NITROGENO

Los procesos de nitrificación y desnitrificación que se realizan en el tratamiento de aguas residuales son sistemas copiados de los que se llevan a cabo en la naturaleza. El proceso se basa en proveer un ambiente propicio para que cierto tipo de bacterias puedan pasar el nitrógeno inorgánico y orgánico contenido en el agua residual a nitrógeno gaseoso (N_2) el cual es liberado a la atmósfera.

2.4.1 NITRIFICACIÓN

Algunos tipos de bacterias aerobias autótrofas son las responsables de la nitrificación que como se muestra en el esquema la podemos dividir en dos etapas. Primero la oxidación hasta nitrito (NO_2^-) y luego la oxidación hasta nitrato (NO_3^-).



Cuando amoníaco ya se encuentra en su forma amoniacal comienza la oxidación biológica por gracias a bacterias nitrificantes hasta NO_2^- . Para lo cual se requiere de nutrientes (C,N,P,etc.) y una alta disponibilidad de oxígeno.

Luego sigue la oxidación del nitrito (NO_2^-) hasta nitrato, también en condiciones aerobias gracias a otras bacterias como Nitrobacter, Nitrococcus, etc.

Para llevar a cabo este proceso la concentración de oxígeno disuelto debe ser superior a 1,0 mg/l (Metcalf, 1991).

2.4.2. DESNITRIFICACIÓN

Esta ocurre en condiciones anóxicas y aquellos organismos encargados de realizar esto utilizan el oxígeno que poseen los nitratos, dando como resultado nitrógeno molecular (N_2) que es liberado a la atmosfera posteriormente



Para la realización de este proceso la concentración de oxígeno disuelto debe ser inferior a 0,2 mg/l (Metcalf, 1991).

3 OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar un filtro biológico de lecho sumergido integrado en el RAS de una granja acuícola, donde existe la necesidad de conocer el estado en que opera, la capacidad de remoción de contaminantes, la calidad y eficiencia de los materiales que lo integran y su potencial para ser sometido a mayores cargas a futuro.

3.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Evaluar la calidad del agua de la granja acuícola.
- Determinar la eficiencia de remoción de contaminantes por medio de un biofiltro de lecho sumergido con un sistema de recirculación (RAS) usado en la granja acuícola.
- Analizar y evaluar el material de soporte y su compatibilidad con la biopelícula del reactor biológico.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.MODELO EXPERIMENTAL



Figura 4.1. Estructura del sistema de recirculación y reactor.

El laboratorio de Biología Acuática de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás De Hidalgo cuenta en sus instalaciones con varios modelos de tanques de crianza de peces, las aguas que son extraídas de los estanques se encuentran contaminadas con los residuos de que los peces expiden debido a sus funciones fisiológicas, son recolectadas a través de sistemas de recirculación y tratadas en reactores de filtro biológico.

Los estanques se encuentran divididos en dos sectores independientes: uno techado que se encuentra al interior del laboratorio de Biología y otro que está en el exterior en el patio central del laboratorio. Se cuenta con un sistema de recirculación y un reactor para cada sector.

En la sección de tanques que se encuentran al interior del laboratorio se cuenta con once unidades de dimensiones y volúmenes diferentes los cuales se esquematizan en la figura 4.2; además, cada tanque se encuentra conectado al RAS el cual se encarga de circular el agua hacia un reactor en el exterior y luego de regreso a los tanques.

El reactor para los tanques del interior cuenta con las siguientes características y el siguiente perfil hidráulico:

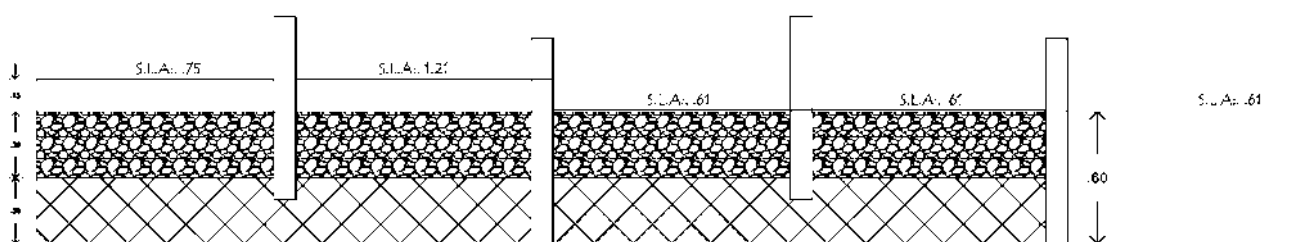


Figura 4.2. Configuración del reactor biológico.

El agua de este reactor es extraída y recirculada gracias a 2 bombas de marca Pentair de 1.5 caballos de potencia las cuales regresan el agua tratada hacia los tanques de crianza.

Para la sección del exterior que es la de estudio, se tienen veinte tanques conectados a un mismo sistema de recirculación el cual alimenta al reactor, en el caso de estos tanques no todos se encuentran cargados de peces, algunos de ellos se utilizan para producir otras especies de animales acuáticos; estos tienen muy variados tamaños. Las características de los puntos de muestro se presentan en la figura 4.5.

Tabla 4.1. Que muestra las dimensiones de las diferentes etapas del muestreo en el ras

PUNTO DE MUESTREO	PROFUNDIDAD (m)	LARGO (m)	ANCHO (m)
<i>ESTANQUES</i>			
ESTANQUE 1	0.9	9.60	2.60
ESTANQUE 2	0.9	4.80	2.70
ESTANQUE 3	0.9	4.80	2.60
<i>BIOFILTRO</i>			
ETAPA 1	1.21	1.91	1.68
ETAPA 2	1.21	1.84	1.68
ETAPA 3	0.65	1.88	1.68

La granja se encuentra establecida en un patio y su distribución es conforme al plano que se muestra en la figura 4.3.

En los 15 tanques de la granja acuícola, se cuenta con un volumen total de 83.81 m^3 , trabajando con densidades de 1.25 hasta 20 peces/ m^3 (0.375 a 60 kg/ m^3). Los cultivos son de Tilapia, (*Oreochromiss.p.p.*) en diferentes variedades: *hembras Stirling*, *supermachos*, *hembras de chitralada* y *supermacho Stirling*. Los tanques operan con una tasa de recambio promedio de 2% /dia

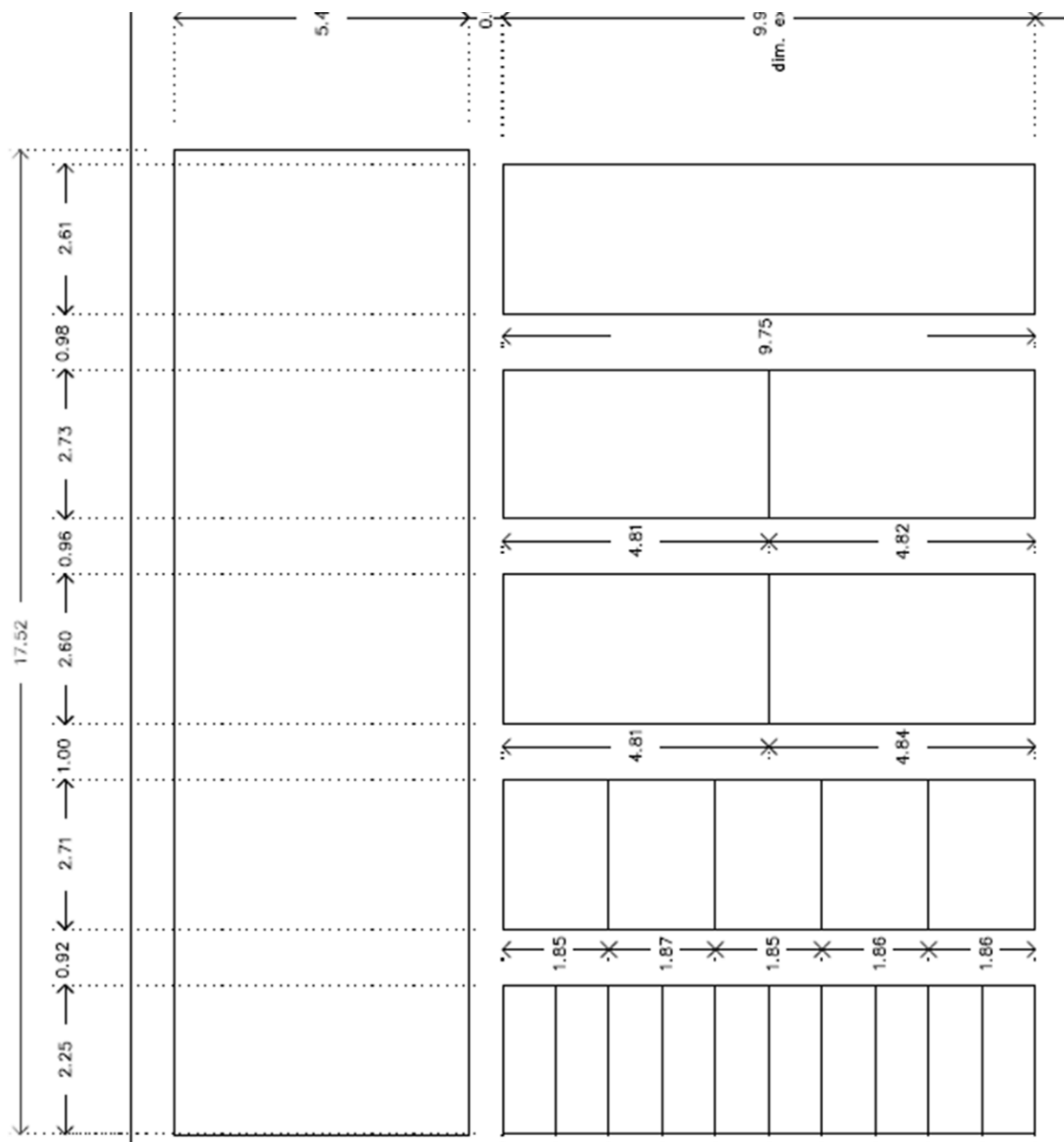


Figura 4.3. Plano Acotado de la zona de estanques

A continuación en la figura 4.4 se presenta la configuración del rector biológico en estudio.

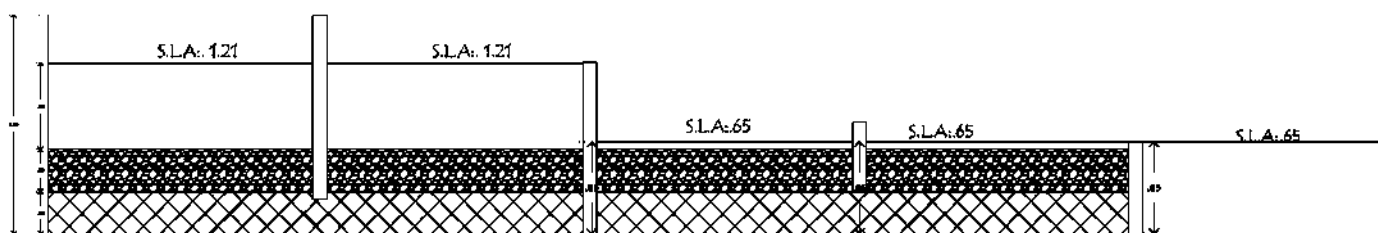


Figura 4.4. Configuración del reactor de los estanques interiores.

Cabe hacer mención de que los tanques en general, tanto los del interior como los del exterior se encuentran conectados a un mismo sistema de aireación el cual cuenta con cuatro aireadores.

4.2.BIOFILTRO

En ambos sistemas de recirculación se cuenta con el mismo tipo de filtro biológico, aunque de diferentes dimensiones, pero en ambos casos se trata de la misma estructura y composición.

El agua de los tanques que contienen peces es extraída de estos por gravedad, a través de tubos de desagüe que se encuentran en el centro de cada tanque los cuales tienen una altura aproximada de 90 cm, el agua alcanza la altura del tubo de drenaje y por escurrimiento entra a él, esta agua es conducida por medio de tuberías de PVC sanitario de 2" a un tubo colector que es el que dirige toda el agua hacia el reactor.

Los reactores se encuentran integrados de la siguiente forma: se trata de varias pilas interconectadas o módulos que provén un flujo constante. Todas las pilas están construidas a base de tabique y mortero, y recubiertas con un aplanado. En el interior de

cada pila hay cajas plásticas que sostienen el material que sirve como medio de soporte, que en este caso es un material pétreo, contenido en arpillitas; este material pétreo le sirve de medio de soporte a la biopelícula y se distribuye en cada sección del reactor. En el último módulo de cada reactor se encuentran las bombas de extracción que son las encargadas de recircular el agua a través del sistema.

4.3. PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Se propuso que el análisis se realice solamente en un conjunto de estanques, en este caso el más representativo que son los estanques exteriores, La medición de parámetros es en puntos básicos como la alimentación de cada estanque, en el drenaje de los estanques, a la entrada o alimentación del reactor, en una exclusiva al inicio del reactor y en otra exclusiva al final del reactor.

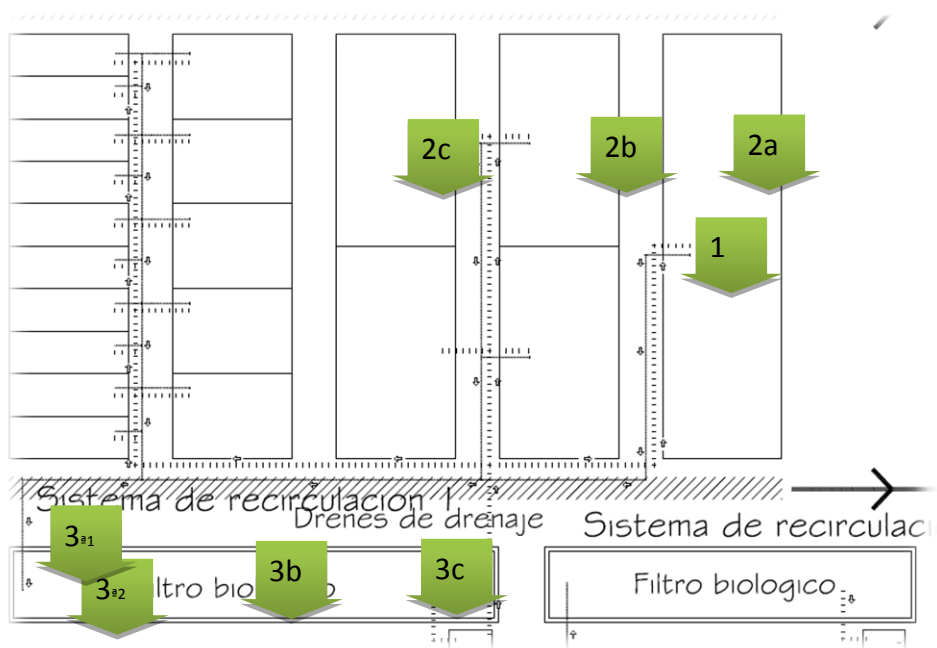


Figura. 4.5. Puntos de muestreo

Los parámetros que fueron analizados debido a la naturaleza del proyecto fueron la temperatura, el pH del agua, la cantidad de oxígeno disuelto, la conductividad, los sólidos suspendidos totales; así como los niveles de carbono, nitrógeno y fosforo.

Se hizo el análisis para identificar las condiciones del funcionamiento de los filtros, para verificar si se encontraban funcionando de manera aerobia, exógena o anaerobia. Otro aspecto importante a verificar en el funcionamiento de los rectores era si se trataba de reactor completamente mezclado o de flujo pistón.

Para la experimentación se tomaron 3 muestras en cada punto; El muestreo se llevó a cabo dos veces por semana y el periodo de muestreo tuvo una duración de 2 meses.

4.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Para el análisis de las muestras de agua y con la finalidad de controlar los parámetros en que opera el reactor se utilizaron las siguientes técnicas:

Tabla 4.2. Métodos de análisis utilizados NOM 03

PARAMETRO	TECNICA ANALITICA
TEMPERATURA	TERMOMETRO
pH	MEDICION AMPEROMETRICA
OD	MEDICION AMPEROMETRICA
CONDUCTIVIDAD	ESPECTROFOTOMETRO DR 2800, HACH (0-199.9 mS/cm)
DQO total	METDO DE DIGESTION EN REACTOR Y COLORIMETRIA ESPECTROFOTOMETRO DR 2800, HACH (0.7-15000 mg/L)
DQO sol	METDO DE DIGESTION EN REACTOR Y COLORIMETRIA ESPECTROFOTOMETRO DR 2800, HACH (0.7-15000 mg/L)
N total	ESPECTROFOTOMETRO DR 2800, HACH (0.5-150 mg/L)
N (NH ₃)	ESPECTROFOTOMETRO DR 2800, HACH (0.015-50 mg/L)
N (NO ₂)	ESPECTROFOTOMETRO DR 2800, HACH (0.002-250 mg/L)
N (NO ₃)	ESPECTROFOTOMETRO DR 2800, HACH (0.01-35 mg/L)
SST	ESPECTROFOTOMETRO DR 2800, HACH (8006

4.6 Medición de oxígeno disuelto en tanques

Para la medición de oxígeno disuelto en los tanques se utilizó un oxímetro y el mecanismo para realizar la medición fue el siguiente:

Se dividió el tanque en tres plano horizontales imaginarios a diferentes profundidades (a 20, 40y 60cm del fondo) y se supuso una retícula de 0.67X2.0 m a partir de la cual se localizaron los puntos de muestres los cuales fueron en cada uno de los vértices formado a lo largo de los tres planos generados.

Para tomar la medición del oxígeno en cada punto se introdujo la punta del oxímetro hasta la profundidad determinada y se agito durante aproximadamente 2 minutos hasta que le valor medido por el oxímetro se estabilizo en una sola medición por alrededor de 30 segundo, este fue el valor que se tomó como medido para cada punto. Y así sucesivamente se levantaron los 75 puntos que se programaron a lo largo del tanque.

Para la primera medición se propuso el tanque sur de la cuarta fila el cual tiene alrededor de 400 hembras de tilapia sterlin y el diagrama de isoconcentraciones quedo como se muestra en la figura 4.5.



Figura 4.5. Isoconcentración de OD

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A continuación se realiza el análisis de los resultados obtenidos en la evaluación al reactor del sistema de recirculación de los estanques exteriores en la granja acuícola de la facultad de Biología de la UMSNH.

5.1. EVALUACION DE S.S.T.

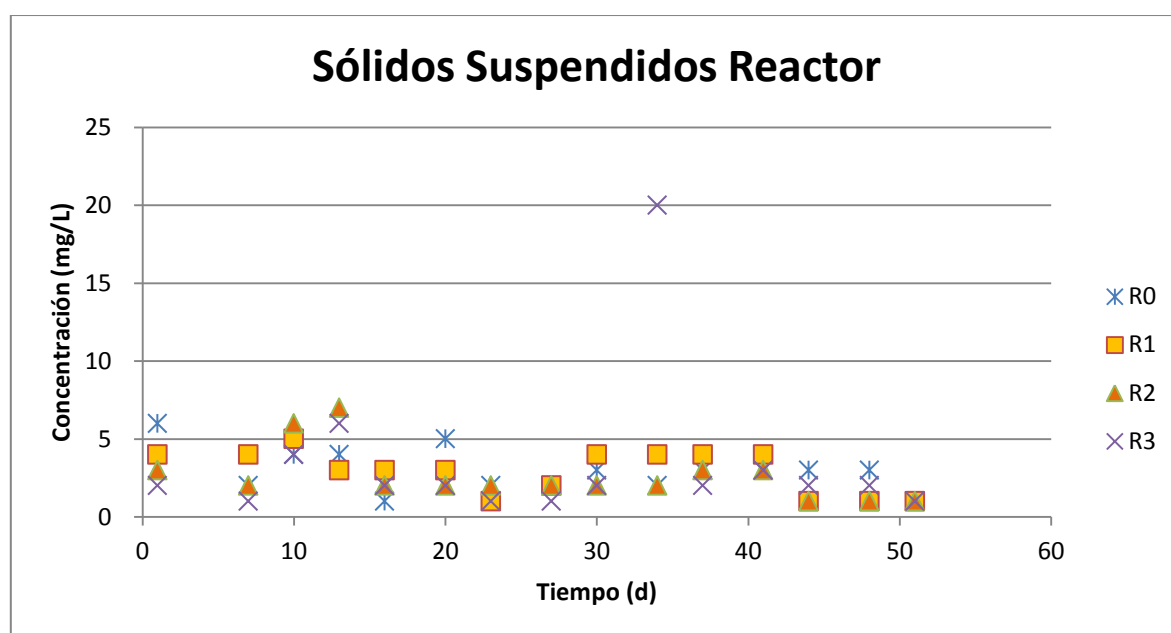


Figura 5.1. S.S.T. del reactor en estudio

En la gráfica se puede apreciar que la concentración de sólidos suspendidos no es muy alta a la entrada del reactor.

Se aprecia un pico que sobre sale por encima de todo los valores, este valor presento al día después de un sifoneo realizado en los estanques, lo que ocasionó un mayor arrastre de sólidos, aunque dicho fenómeno solo se presentó en la etapa final del proceso.

Se puede apreciar que la remoción de sólidos no es muy significativa ya que solo se aproxima al 23%.

5.2. EVALUACIÓN DE DQO

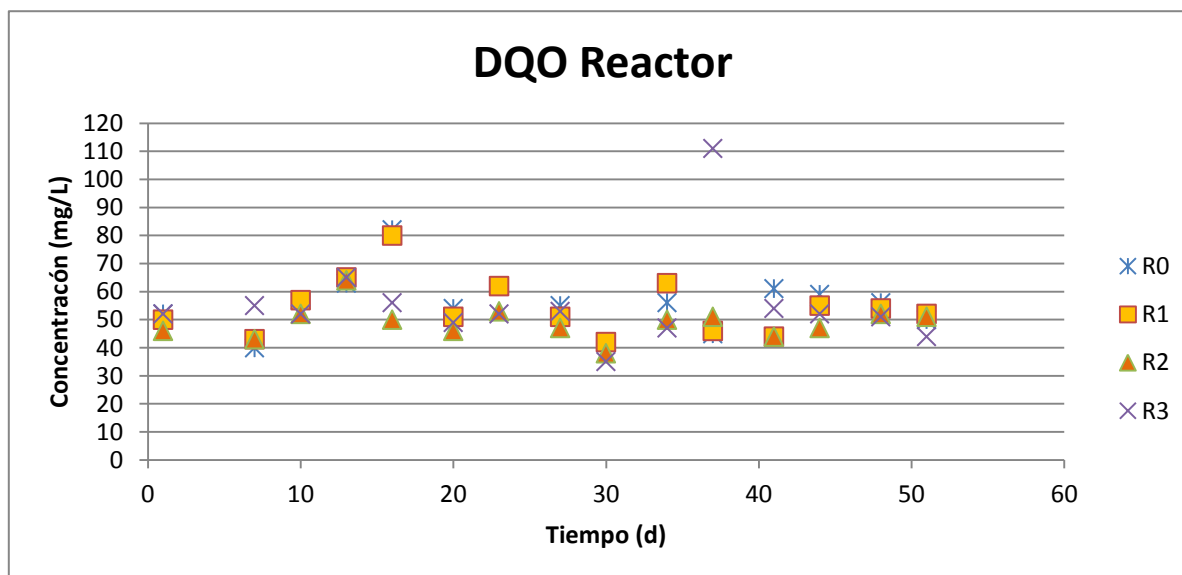


Figura 5.2. DQO del reactor en estudio

Se puede notar que la mayoría de las veces la demanda química de oxígeno es menor a la salida del reactor que en sus primeras etapas, con lo cual es posible decir que presenta que casi no se presenta actividad de degradación de materia la orgánica.

El pico que sobresale de la mayoría es resultado de un exceso de sólidos suspendidos en la muestra, ya que el día anterior a la toma de muestras se realizó un sifoneo de limpieza a los estanques, lo cual ocasionó un arrastre mayor de materia orgánica hacia el reactor.

Se observa que la demanda química de oxígeno permanece en niveles muy constantes a lo largo del periodo de muestreo; además los valores de DQO indican que a pesar el agua no tiene un nivel de contaminación muy elevado si indican un ligero nivel de contaminación (30-60 mg/L) comparado con valores de la CONAGUA que considera contaminada una agua con $40 < \text{DQO} \leq 200$ (mg/L) (indicadores de calidad del agua CONAGUA).

5.3. EVALUACIÓN DE NITRATOS

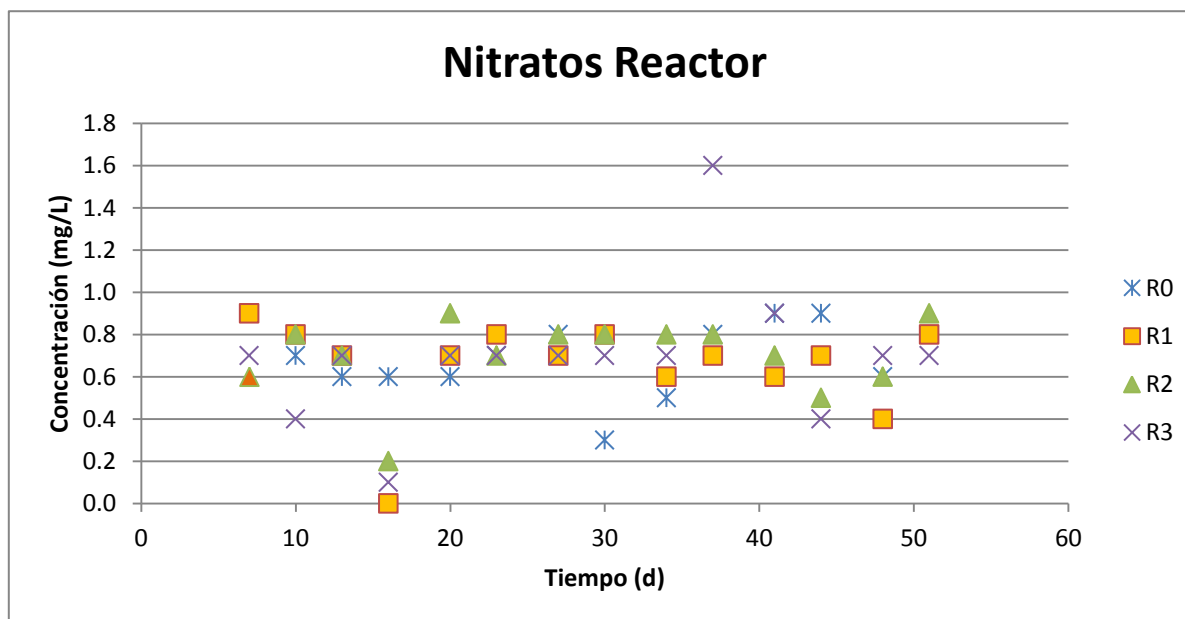


Figura 5.3. Concentración de Nitratos del reactor en estudio.

Los valores en la concentración de los nitratos dentro del reactor no demuestran un cambio significativo si se compara la concentración de la entrada con la de la salida, por lo que se puede decir que el reactor no está realizando un proceso de nitrificación eficiente a pesar de que hubo una ligera nitrificación de apenas un 7%, sin embargo no corresponde con una reducción en el nitrógeno amoniacal, lo cual implica primero, una baja actividad de las bacterias nitrificantes y segundo, que puede estarse presentando una amonificación del nitrógeno orgánico excretado por los peces.

Una vez más se observa un pico el cual es originado por el arrastre de materia por el sifoneo de limpieza de los estanques.

5.4. EVALUACIÓN DEL AMONIACO (NAT)

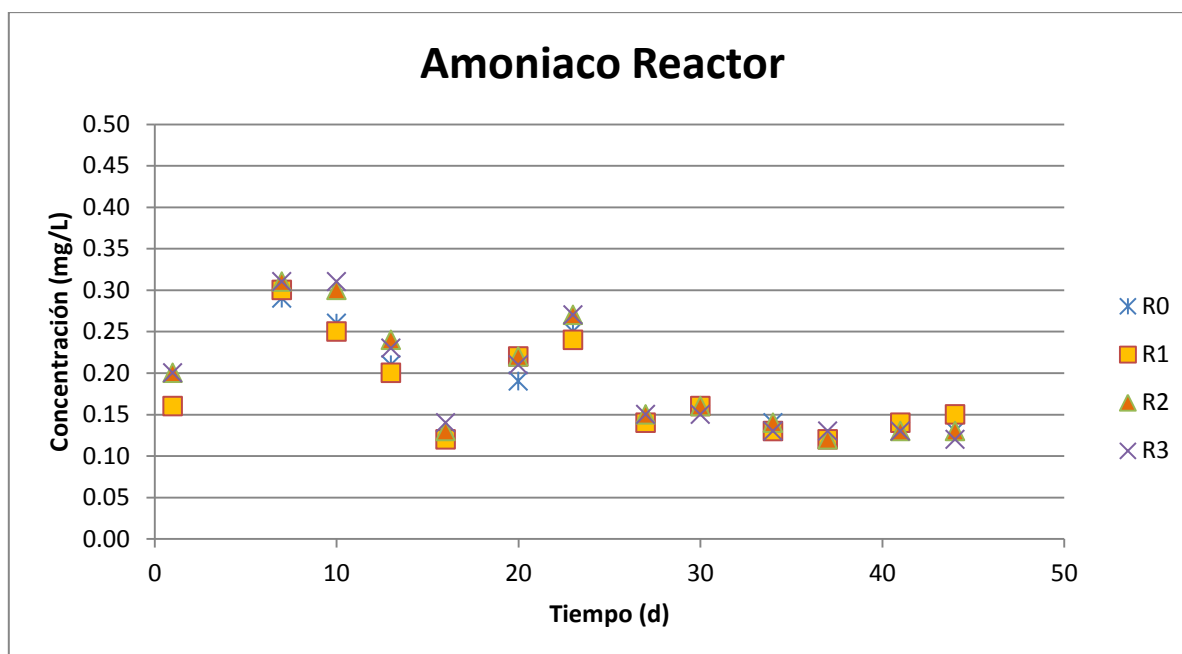


Figura 5.4. Concentración de Nitrógeno amoniacal del reactor en estudio

En la gráfica es evidente que el reactor no está realizando con éxito su labor de remoción de amoníaco, ya que los valores de la concentración de este contaminante en la entrada al reactor son muy semejantes a los de la salida de la última etapa del proceso.

Los niveles de amoníaco tanto en el reactor como en los estanques presentaron una disminución de apenas el 2% aproximadamente una vez entrado el invierno; lo cual es insignificante comparado con el valor esperado para biopelícula cuya eficiencia es de alrededor del 80%

Sin embargo las concentraciones de amoníaco presentes en el agua durante todo el tiempo de muestreo nunca alcanzaron niveles elevados que pudieran poner en riesgo a los peces de la granja ya que siempre se mantuvieron por debajo de 1 mg/L muy inferiores

a los 6 mg/L que sería una concentración nociva para los peces. Esto último puede deberse a las densidades de peces presentes en los estanques que no son muy altas.

5.5. MONITOREO DE OXÍGENO DISUELTO

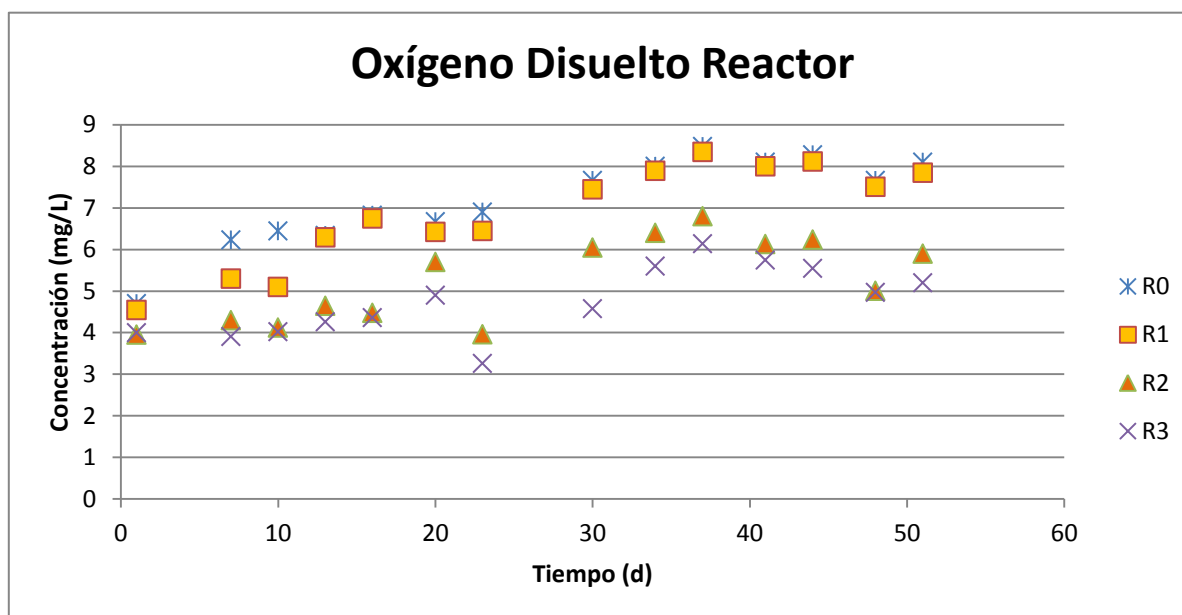


Figura 5.5. Concentración de OD del reactor en estudio.

El reactor mantuvo los niveles de oxígeno por encima del mínimo requerido para realizar proceso aerobios, por lo menos a la hora del muestro, ya que durante una evaluación a diferentes horas del día se pudo observar que los niveles de oxígeno llegan a caer por debajo de 1 mgO₂/L a primeras horas de la mañana.

También se observó que la concentración de oxígeno a la salida del reactor es siempre inferior a la concentración de entrada, por lo que se supone que la degradación de las sustancias es a partir de proceso aerobios.

El incremento en la concentración del oxígeno disuelto en el agua a lo largo del periodo de análisis es debido seguramente en parte a la disminución de la temperatura debido al invierno.

5.6. MONITOREO DE TEMPERATURA

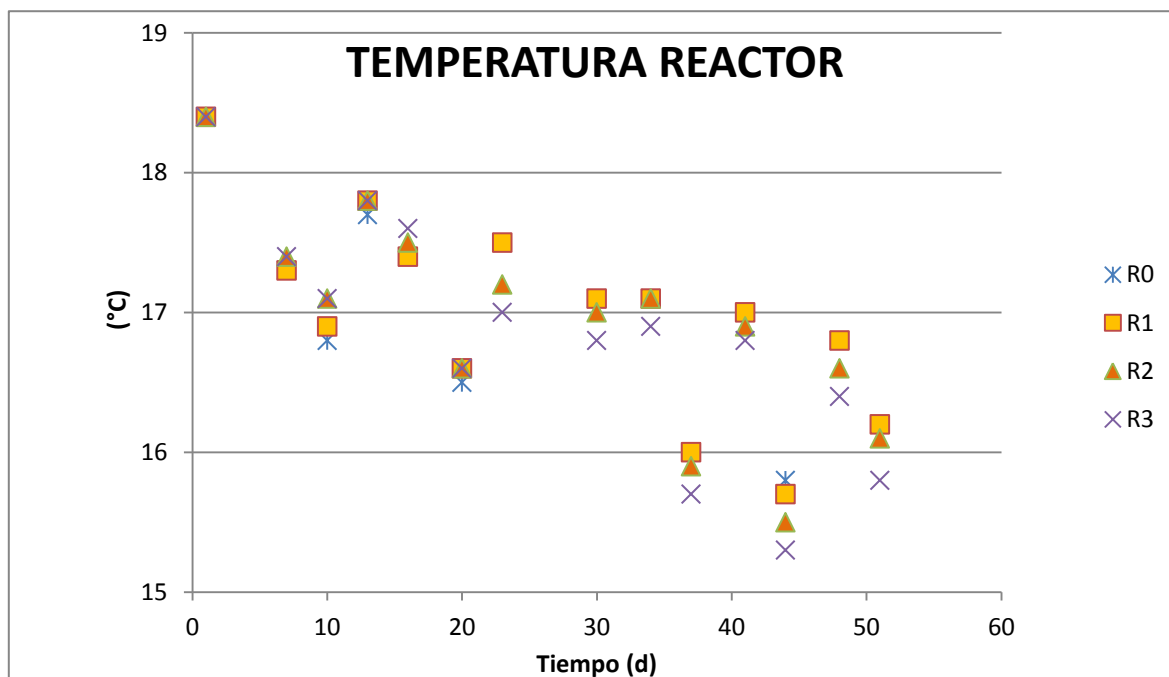


Figura 5.6. Temperaturas registradas en el reactor.

En esta grafica se observa la disminución en todas cada una de las etapas del reactor de manera proporcional, aunque el comportamiento de la temperatura se ve oscilante ha tenido un descenso significativo con respecto a las temperaturas registradas al principio de la evaluación del sistema. Cabe mencionar que se pudo observar la influencia de la temperatura sobre algunos de los parámetros que fueron medidos durante la evaluación del sistema, tales como el NAT. Estos parámetros son comparados en la figura 5.7.

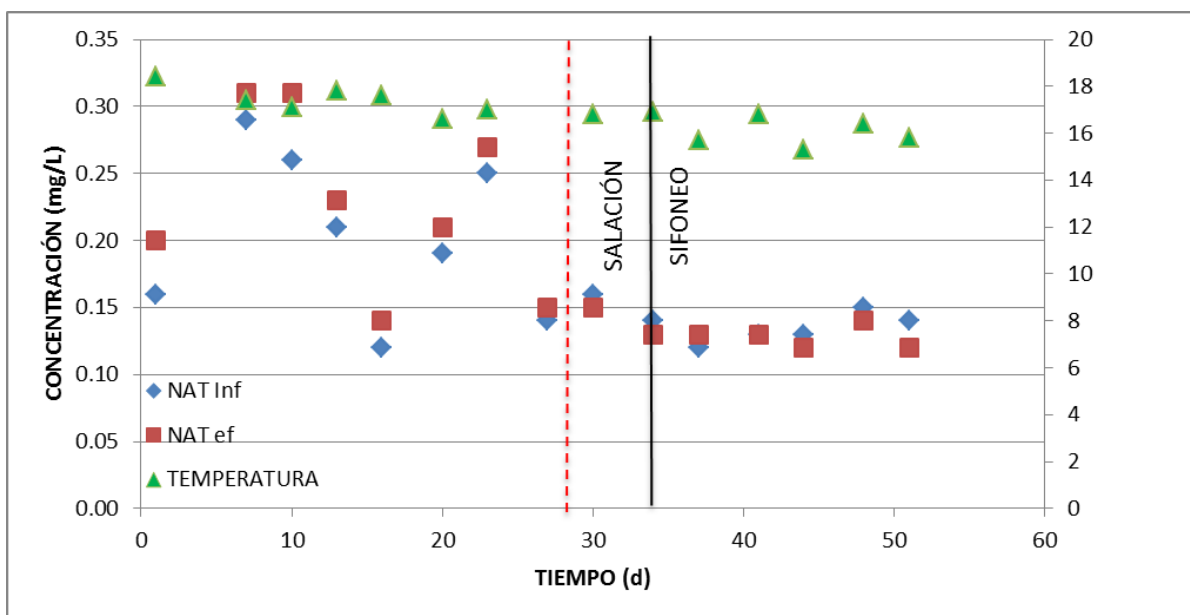


Figura 5.7. Gráfica de concentraciones de NAT y temperatura en el biofiltro.

5.7 CONCLUSIONES

Tras la revisión de los resultados obtenidos de la evaluación al biofiltro utilizado en la granja acuícola, se llegó a la conclusión de que el reactor o biofiltro no está cumpliendo con su función de remover eficientemente los contaminantes del influente como son la materia orgánica, los nitratos o el compuesto más importante que es el amoníaco, que es el contaminante más tóxico para los peces. No obstante que el reactor no esté funcionando con la eficiencia esperada, se puede apreciar que los peces con los que estuvo trabajando el sistema se encontraron en buenas condiciones durante toda la evaluación, sin mostrar signos de estrés.

Ya que el biofiltro no logra tratar el agua del sistema acuícola recirculado, se concluye que es necesario hacer una reconfiguración y una ampliación de su capacidad de carga si se pretende un futuro incremento de la densidad de cultivo ya que las condiciones en que opera actualmente no serían seguras para realizar dicho proceso.

Existe la posibilidad de que la baja eficiencia del reactor sea debida al material de soporte, a su configuración y modo de operación, lo que deja un punto de partida para hacer una revisión más profunda y exhaustiva sobre este como material de soporte y el estado de la biopelícula que son factores elementales en el tratamiento del agua residual.

Otra posible causa de la baja eficiencia del sistema puede estar relacionada con la temperatura del agua en el sistema, la cual varía a lo largo del día y a su vez a través de las estaciones durante el año, cabe mencionar que factores como las concentraciones de oxígeno, nitratos y amoníaco dependen directamente de este parámetro. Al igual la

temperatura afecta el metabolismo de los peces y de los microorganismos que habitan en el medio acuático.

Considerando que esta evaluación se realizó en tanques acuícolas que se pretende que trabajen con mayores densidades de cultivo y con un sistema completamente recirculado, es importante explotar el potencial del filtro mediante la selección de un medio de soporte más adecuado, con mayor densidad de área superficial y plantear una estrategia de operación que permita incrementar su eficiencia de remoción de contaminantes.

6. REFERENCIAS

Acuacultura, Insntituto Sinaloense de. 2005.*Protocolo de manejo para cultivo de tilapia en jaulas flotantes.* 2005.

Beitinger, Donald Watenpaugh and Thomas. 1979.*Swimming performance of channel catfish (Ictalurus punctatus) after nitrite exposure.* 1979.

Calleja, Javier García. 2009. La Guía. *Biología*. [En línea] 24 de noviembre de 2009. [Citado el: 17 de junio de 2012.] <http://biologia.laguia2000.com/bioquimica/el-agua-propiedades-quimicas>.

Characklis, Whilliam y Marshal, Kevin. 1990.*Biofilms.* s.l. : Wiley, 1990.

Cifuentes Lemus, Juan Luis, Torres-García, Pilar y Frías M., Marcela. 1995.*El Oceano y sus Recursos IX, La Pesca.* s.l. : Fonde De Cultura Económica (FCE), 1995.

Dormon, kathya Iturbide. 2008. Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posuble uso de plantas como agentes de biorremediación. Guatemala : s.n., 2008.

Egna, Hillary y Boyd, Claude. 1997.*Dynamics of Pond Aquaculture.* s.l. : CRC-Press, 1997.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

2007.*Capacidad de pesca y manejo pesquero en América Latina y el Caribe.* ROMA, ITALIA : s.n., 2007.

Fredrick, W. Wheaton. 1982. *Acuicultura, Diseño y Construcción de Sistemas*. México, D.F. : AGT, 1982.

Laxe, Fernando gonzález, Lupín, Héctor M. y Cal, José A. Bretón de la. 2004. *Acuicultura: producción, comercio y estabilidad*. Coruña, España : Instituto Universitario de Estudios Marítimos, 2004.

Lemus, Juan Luis Cifuentes, García, María del Pilar Torres y Mondragón, Marcela Frias. 1997. *El Oceano y sus recursos XI. Acuicultura*. s.l. : Fondo de Cultura Económica, 1997.

Lenntech. 1998. Water tratment solutions lenntech. [En línea] 1998. [Citado el: 18 de agosto de 2012.] <http://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua..>

Martínez, María Auxiliadora Saavedra. 2006. *Manejo del cultivo de Tilapia*. Managua, Nicaragua : s.n., 2006.

Merino, Oscar Galli y Sal, Facundo Miguel. 2007. *Sistemas de recirculación y tratamiento de agua*. s.l. : Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, 2007.

Metcalf, & Eddy. 1991. *Wastewater Engineering*. New York : Mc Graw-Hill, 1991.

Moreau, y otros. 1994. *Biochem*. 1994.

Orantes Ávalos, Julio César. 2008. *Tratamiento de agua para reuso*. Morelia, México : Trillas, 2008.

Orantes Avalos, Julio César. 2001. *Reactor de lecho móvil para tratar aguas residuales usando un nuevo material de soporte*. Df : s.n., 2001.

Pokniak R., José. 1997. *Tecnovet, nutricion de peces*. Chile : Departamento de fomento de la Produccion animal, 1997.

Timmons, Michael, y otros. 2002.*Recirculating Aquaculture Systems*. Ithaca, NY : Cayuga Aqua Ventures, 2002.

Tyagi, Vembu, Kannan. 2000. Wastewater treatment by immobilized Cells. s.l. : CRC Press, 2000.

Universidad Michoacana de San Nicolas de hidalgo, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnica. 2012.*Producción animal ii. producción acuícola*. Morelia : s.n., 2012.