



FUNDACIÓN HIDROSFERA

AGUA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA
FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS
TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN
AGUAS ABIERTAS: CANALES FLOTANTES
PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES
MODIFICADAS PARA TRUCHA**

Bogotá, DC - Abril de 2015

EL CONTENIDO DEL PRESENTE INFORME ES PROPIEDAD EXCLUSIVA DE LA FUNDACIÓN HIDROSFERA, DE LA CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC Y DE LA AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA – AUNAP, AL AMPARO DE RECURSOS PROVENIENTES DEL CONVENIO DE COOPERACIÓN TÉCNICA No. 000137 DEL 24 DE ENERO DE 2014 SUSCRITO ENTRE LA CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC Y LA AUTORIDAD NACIONAL DE ACUICULTURA Y PESCA – AUNAP.



© FUNDACIÓN HIDROSFERA – 2015

CONTENIDO

1.	TÍTULO DEL PROYECTO.....	2
2.	OBJETIVO GENERAL.....	3
3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
4.	RESPONSABLES DE LA EJECUCIÓN	3
5.	RECEPTORES (población beneficiaria).....	3
6.	LUGAR DE EJECUCIÓN	3
7.	LUGAR DE APLICACIÓN.....	4
8.	RELACIÓN CON OTROS PROYECTOS Y/O PROGRAMAS	4
9.	PROBLEMATICA.....	5
10.	INTRODUCCIÓN.....	6
10.1.	Canales Flotantes para cultivo de tilapia	7
10.2.	Jaulas flotantes modificadas para la producción de trucha	10
11.	METODOLOGIA.....	13
11.1.	Adecuación de la Infraestructura de producción	13
11.2.	Evaluación de desempeño ambiental	25
11.3.	Evaluación de producción	27
11.4.	Evaluación económica.....	27
12.	RESULTADOS	27
12.1.	Evaluación de producción	28
12.2.	Evaluación ambiental.....	44
12.3.	Evaluación económica.....	53
13.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	57
13.1.	Evaluación de la producción.....	61
13.2.	Evaluación ambiental.....	61
13.3.	Evaluación económica.....	62
14.	REFERENCIAS.....	65

1. TÍTULO DEL PROYECTO

VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS: CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA

2. OBJETIVO GENERAL

Validar y evaluar la factibilidad técnica, ambiental y económica de dos tecnologías de producción piscícola en aguas abiertas: canales flotantes, para tilapia, y jaulas flotantes modificadas, para trucha, con el fin de disminuir su impacto ambiental.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar la productividad piscícola de las tecnologías propuestas.
2. Evaluar la afectación ambiental por el uso de las tecnologías propuestas.
3. Evaluar económicamente el desempeño de las tecnologías propuestas.

4. RESPONSABLES DE LA EJECUCIÓN

Este servicio de consultoría se ejecuta por el equipo de profesionales adscritos a la Fundación Hidrosfera, mediante alianza con las siguientes entidades:

- Federación Regional de Productores Agro-pesqueros, Ambientalistas y Mujer Rural de la Depresión Momposina - FERPAM
- Truchicol y Cia. Ltda. (Aquitania, Boyacá)

5. RECEPTORES (población beneficiaria)

La población beneficiaria inicial será la comunidad de pescadores artesanales de los municipios de Talaigua Nuevo, Cicuco y Mompox en Bolívar y los piscicultores de trucha de la laguna de Tota, en Boyacá.

6. LUGAR DE EJECUCIÓN

Canales Flotantes para cultivo de tilapia: Reservorio artificial de la finca Pedrosanto, municipio de Santa Ana, Magdalena. La aplicación inmediata del desarrollo tecnológico se dará en la jurisdicción de FERPAM en los municipios de Mompox, Talaigua Nuevo, Cicuco (en Bolívar) y Santa Ana (Magdalena).

Jaulas flotantes modificadas para la producción de trucha: La ejecución y aplicación inmediata del desarrollo tecnológico se dará en la laguna de Tota (Boyacá). Se utiliza la infraestructura productiva ya existente de TRUCHICOL.

7. LUGAR DE APLICACIÓN

La aplicación inmediata del desarrollo tecnológico de CANALES FLOTANTES se dará en la jurisdicción de FERPAM en los municipios de Mompox, Talaigua Nuevo, Cicuco (en Bolívar) y Santa Ana (Magdalena). Sin embargo, una vez validada la tecnología, se espera que ésta pueda implementarse en gran escala tanto en jagüeyes, embalses y reservorios de diverso tipo, así como en ciénagas a lo largo y ancho del país. La población beneficiaria se enfoca, inicialmente en pescadores artesanales o campesinos que tengan acceso a cuerpos de agua de modo que puedan ejercer vigilancia directa sobre los cultivos.

Una vez validada la tecnología de cultivo de trucha en JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS, esta puede ser implementada por los demás productores instalados en la laguna así como aquellos instalados en la laguna de La Cocha (Nariño). Igualmente, esta tecnología requeriría ser validada para las producciones de tilapia en jaulas flotantes en diversos embalses a lo largo y ancho del país.

8. RELACIÓN CON OTROS PROYECTOS Y/O PROGRAMAS

El tema de los CANALES FLOTANTES ya tiene un Plan de Negocios, correspondiente a la producción acuícola de la Granja Integral contemplada dentro de los planes de desarrollo contenidos en “**Estudio de diseño del programa regional pesquero y piscícola en la depresión Momposina de los municipios de Cicuco, Talaigua Nuevo, y Mompóx del Departamento de Bolívar**” realizado por FUNDACIÓN HUMEDALES, con la participación de HIDROSFERA Ltda. en el año 2010 (FUNDACIÓN HUMEDALES, 2010), el cual fue realizado en cumplimiento de la sentencia AP No. 00-0038 del Tribunal Administrativo de Cundinamarca y como línea base para la implementación de proyectos productivos en la región de la depresión Momposina. El tema de las JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS se deriva de las recomendaciones finales del estudio “**Directrices para el ordenamiento pesquero y acuícola del lago de Tota (Boyacá)**”, de PINZÓN-RAMÍREZ, ASSMUS, VALDERRAMA Y QUEVEDO (2012).

9. PROBLEMATICA

Los efectos ambientales de la piscicultura en jaulas flotantes, han sido discutidos ampliamente por varias entidades de referencia mundial como lo son: la FAO, NOAA, GREENPEACE, WWF, etc. El impacto medioambiental se produce tanto por su misma presencia como objeto flotante, como por el método de cultivo propiamente dicho. Así, por un lado, las jaulas ocupan un espacio que puede crear dificultades a la navegación, puede reducir las zonas de pesca, alterar las corrientes e incrementar las tasas de sedimentación. Por otro lado, con respecto al método de cultivo, éstas pueden introducir enfermedades o parásitos en la zona, pueden cambiar la flora y la fauna acuática y puede alterar el comportamiento y la distribución de la fauna local. Pero, sobre todo, asociado con el cultivo intensivo, está la incorporación al medio acuático del alimento no consumido y de las heces de los peces en cautiverio, estimulando la producción primaria y afectando adversamente la calidad del agua y de los sedimentos, si la dispersión no es la adecuada (BEAZ, 2008). El aporte de nutrientes al agua por causa de la actividad piscícola en jaulas flotantes se da por la descomposición bacteriana de los desechos de alimentos concentrados y de las heces de los peces. PINZÓN-RAMÍREZ y ASSMUS (2003) encontraron que, para la piscicultura de tilapia que en ese entonces se practicaba en el embalse de Betania, 2/3 del fósforo contenido en el alimento concentrado terminaba en el sistema (agua y sedimentos) y apenas 1/3 se convertía en biomasa (la carne de los peces cultivados). Estos aportes al ecosistema se traducen en la aceleración de los procesos de eutrofización de los cuerpos de agua en donde se desarrolla la actividad piscícola. Además, existe una seria restricción a la utilización de jaulas flotantes en cuerpos de agua de poca profundidad, como es el caso de los complejos cenagosos asociados a los ríos Magdalena y Cauca. En estos casos, la actividad piscícola genera, además de los problemas citados, una alta demanda bioquímica de oxígeno justo debajo de la jaula flotante, el cual afecta la salud de los animales que se están criando y, por consecuencia, la producción piscícola como tal. Por otro lado, en la laguna de Tota actualmente se vive una gran incertidumbre acerca del impacto ambiental real que están causando los piscicultores sobre la calidad del agua de la laguna. Cualquier alternativa tecnológica que represente una disminución significativa de los aportes mencionados, redundará en beneficio de los ecosistemas y en una producción más limpia de la actividad piscícola en particular.

10. INTRODUCCIÓN

Con esta iniciativa se busca identificar y aplicar las mejores prácticas que existen en temas medio ambientales para implementar tecnologías que favorezcan los procesos productivos y el mejor uso de los recursos naturales. Las dos alternativas aquí planteadas apuntan a convertirse en “granjas modelo” eficientes (altos rendimientos) y, sobre todo, de bajo impacto ambiental, que sirvan de modelo para el sector.

El problema que se pretende resolver o, al menos, mitigar en gran medida, es el aporte de nutrientes a los sistemas acuáticos, debido a la presencia de la misma piscicultura. Este es, tal vez, el principal impacto ambiental que presenta la piscicultura en jaulas flotantes en todo el mundo, tanto en aguas marinas como en agua dulce (“piscicultura en aguas abiertas”). En el balance de masas para el fósforo, según estudio realizado en el embalse de Betania (Huila – Colombia) para la piscicultura de tilapia en jaulas flotantes por PINZÓN-RAMÍREZ & ASSMUS (2003), quedó claro que el aporte de nutrientes al ecosistema acuático puede estar en el orden de los $\frac{3}{4}$ partes de los nutrientes suministrados como alimento. Es decir, apenas $\frac{1}{4}$ es asimilado en forma de biomasa de peces de cultivo. (Figura 1).

Diversos estudios realizados en ese sentido alrededor del mundo, para diferentes especies, incluyendo tilapia y trucha arcoíris, corroboran esos resultados. Esto significa que el problema en sí mismo es de origen tecnológico, pues el común denominador es el sistema de jaula flotante en donde no existen barreras que aislen el recinto de cultivo del ecosistema en el cual se desarrolla éste.

Desde los años 80 se vienen desarrollando tecnologías que permitan disminuir y/o controlar estos aportes nefastos de la piscicultura. Así, por ejemplo, ENELL *et al.*, 1984 (*In*: BEVERIDGE, 2004), describen una instalación para la recolección de los sedimentos bajo jaulas cuadradas para cultivo de salmónidos, basado en trampas de sedimento. Este concepto se aplica extensivamente en cultivos de salmónidos en Escocia, Noruega, Suecia, Canadá y Chile, por ejemplo, en donde se ha tornado de obligatoria instalación, pasando a integrar los costos de instalación de una jaula flotante convencional. Por otro lado, MASSER y LAZUR (1997) ofrecen una novedosa alternativa, los canales flotantes, en donde los peces se mantienen en confinamiento total en recintos completamente aislados en donde se

controlan las entradas y salidas, tanto de agua como de nutrientes, permitiendo una cierta independencia del ecosistema contenedor.

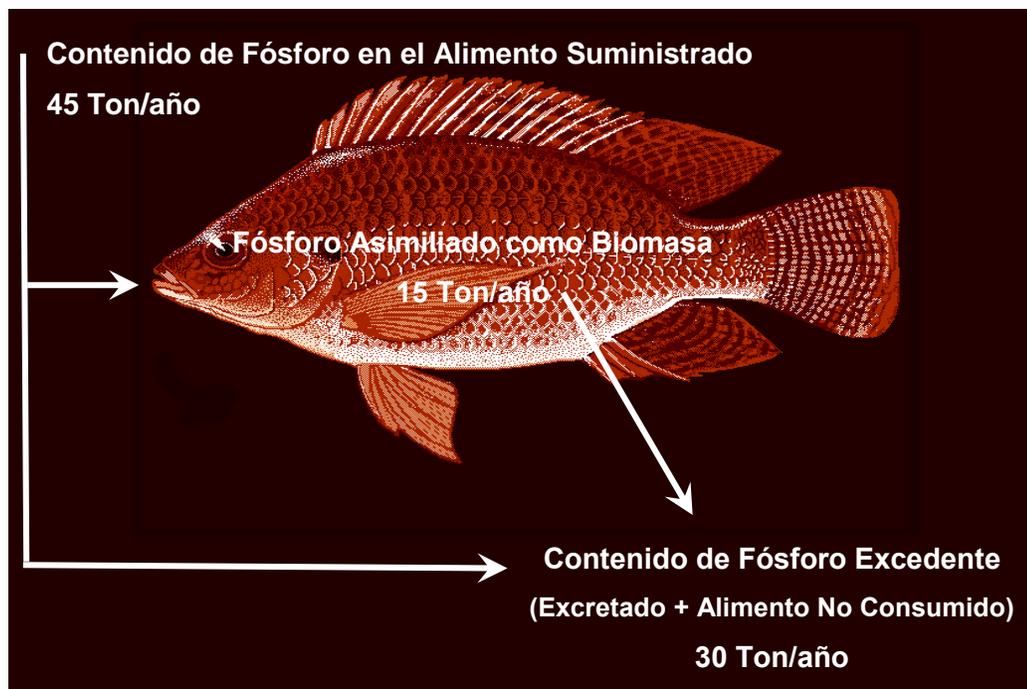


Figura 1 – Balance Global Anual del Fósforo proveniente de las pisciculturas en el Embalse de Betania
Fuente: Pinzón-Ramírez y Assmus, 2003

10.1. Canales Flotantes para cultivo de tilapia

La tecnología de canales flotantes (“In-Pond Raceways Systems – IPRS” o simplemente “floating raceways”) consiste en la utilización de canales o piscinas construidos con geomembranas y soportados por una estructura flotante similar a la de las jaulas, en donde se mantienen los peces en altas densidades mediante un sistema permanente de circulación/aireación del agua (generalmente, mediante *airlifts*). En el extremo de salida del agua de los canales se instalan trampas de sedimento, los cuales permiten el manejo integral de los excedentes reduciéndolos considerablemente o, inclusive retirándolos integralmente del sistema. Esta tecnología “aisla” a los peces al controlar las entradas y salidas del sistema de producción. Su única desventaja está en la dependencia de energía, situación que puede ser solventada con la utilización de bombas de 12 Voltios alimentadas con sistemas de energía fotovoltaica que aseguren un suministro las 24 horas del día. Su

gran ventaja, además de disminuir considerablemente el impacto negativo de la piscicultura en jaulas flotantes, está en que no es dependiente de parámetros de ordenamiento tales como batimetría e hidrodinámica o inclusive de los criterios utilizados normalmente para estimar la Capacidad de Carga Piscícola de lagos o embalses.

La acuicultura en cuerpos naturales de agua como son los sistemas cenagosos presentes en la Depresión Momposina tiene un alto potencial de desarrollo, teniendo en cuenta la cantidad de área disponible y la calidad de agua presente en estos sistemas. Sin embargo en Colombia se han intentado desarrollar proyectos en estas zonas, con base a tecnologías que no han tenido en cuenta los aspectos topográficos, batimétricos y el comportamiento hidrológico de la zona. Para citar unos ejemplos, se han construido encierros o corrales piscícolas en ciénagas para las épocas de verano y cuando han llegado las crecientes del río Magdalena o del río Cauca (en el caso de La Mojana) los encierros han quedado sumergidos; o se han construido jaulas flotantes que en la época de aguas altas tienen mucho éxito, pero en las épocas de verano o aguas bajas, el fondo de la jaula queda contra el fondo de la ciénaga con los efectos negativos de mortandad masiva que eso representa. Para este tipo de geografía, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y la Universidad de Alabama diseñaron un sistema que se conoce en todo el mundo como “IN-POND RACEWAYS SYSTEMS – IPRS” (MASSER y LAZUR, 1997), concebidos específicamente para ser utilizados en zonas como el delta del río Mississippi que tiene grandes variaciones de profundidad durante el año, dependiendo de los ciclos de inundación normales. Esta estructura es construida en madera, fibra de vidrio o en Geomembrana de Polietileno o de PVC, y se apoya en sistemas de flotación de tubería PVC o Canecas Plásticas de 55 galones, o sistema de flotación equivalente. En este “paralelepípedo” se encierra el volumen de agua necesario para el cultivo intensivo de peces, ya que al tener un sistema de bombeo permanente (recambios de hasta el 200% diario) permite sembrar altas densidades de peces, independientemente de la profundidad que se tenga al exterior de ésta. El sistema mantiene el volumen de agua con características de oxigenación óptimas para manejar densidades hasta de 75 Kg/m³ como las que se manejan en Estados Unidos o en Australia. Para los canales flotantes propuestos para este proyecto, se podría llegar a manejar hasta 4.000 Kg de biomasa por canal. Otro aspecto importante desde el punto de vista ambiental es que el desecho producido por las heces de los peces y el alimento no

consumido, puede ser retirado manualmente, reprocesado y alimentar peces detritívoros como los bocachicos que se pueden criar en un corral exterior al canal y que sirve como aislamiento de protección de los canales. Otra alternativa es utilizar este material como materia prima para fertilizantes agrícolas. Estos desechos se recogen por medio de trampas de sedimentación dispuestas en el extremo opuesto a aquel por donde ingresa el agua en el canal flotante.

Esta tecnología es un híbrido de jaula flotante y de estanque en tierra. Cuenta con la estructura flotante que varía con el nivel del agua, pero en caso de que el nivel de agua baje a niveles no deseables para la acuicultura en jaulas, tiene el fondo sólido e impermeable, que no permite tener contacto directo con los sedimentos y poder así controlar las condiciones dentro del canal. (Figuras 2 y 3).



Figura 2 – Canal Flotante en construcción, donde se aprecia las paredes y pisos en geomembrana de PVC.
Fuente: University of Wisconsin. Chris Hartleb.



Figura 3 – Imagen de un sistema de canales flotantes listos para su operación. Fuente: University of Wisconsin. Chris Hartleb.

Por un lado, si consideramos la tecnología convencional de las jaulas flotantes, BEVERIDGE (2004) plantea que estas se deben instalar en donde la profundidad sea como mínimo el doble de altura de la jaula, es decir que si se hacen jaulas de profundidad 1.20 m, estas se deben instalar en sitios de mínimo 2.40 m de profundidad; de lo contrario la mezcla de alimento concentrado no consumido con las heces de los mismos peces, se convierten en un factor degradante de las condiciones físicas y químicas del agua que derivan en mortalidades masivas de peces en cultivos operando por debajo de ese nivel.

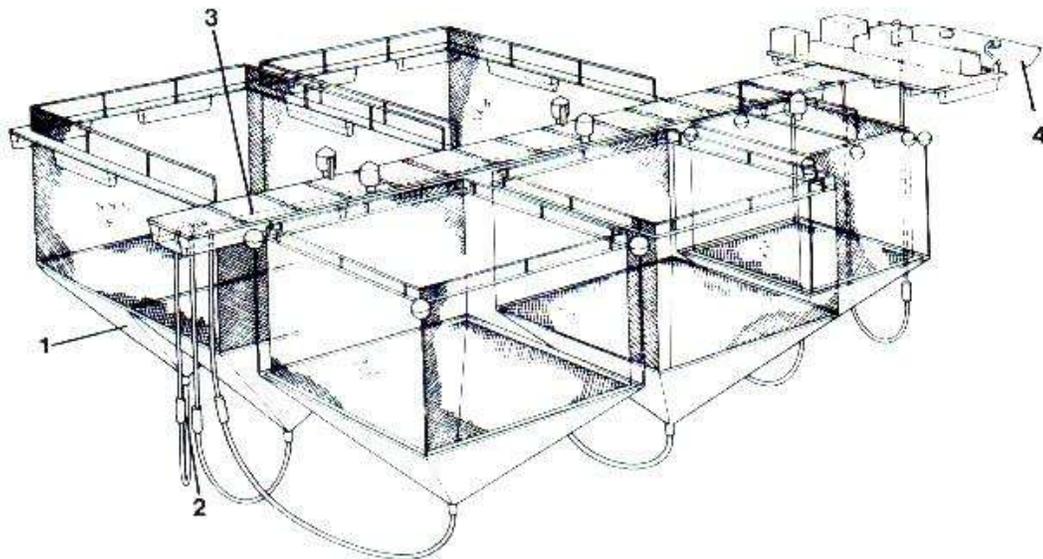
En una evaluación multicriterio que fue realizada en diez ciénagas de la región hace cinco años por HIDROSFERA Ltda. (FUNDACIÓN HUMEDALES, 2010), se encontró que la profundidad máxima en épocas de aguas bajas se sitúa en promedio entre 1.00 – 1.50 m de profundidad, en aquellas ciénagas más profundas. Esta es la profundidad promedio de la Ciénaga Grande de Santa Marta, por ejemplo. Esta profundidad no viabiliza la utilización de jaulas flotantes en estas ciénagas y representa, también, un alto grado de incertidumbre en toda la región para la implementación de encierros piscícolas.

Por todas estas razones, se llegó a la conclusión de que una alternativa productiva REAL para los pescadores artesanales y campesinos de la Depresión Momposina y de La Mojana podría constituir esta tecnología, lo cual que justifica plenamente los esfuerzos que se realicen para poner a punto un proyecto piloto.

10.2. Jaulas flotantes modificadas para la producción de trucha

La utilización de trampas de sedimentos y sistemas automatizados en jaulas flotantes para la recogida de excedentes sedimentados es una tecnología que se viene desarrollando desde 1984 en Suecia (BEVERIDGE, 2004) y posteriormente refinada por empresas de la industria salmonera como el AKVA Group (Figura 4). En Chile es obligatorio su uso en la cría de truchas en lagos, así como en la esmoltificación del salmón en esos mismos lagos. Estas trampas son diferentes tipos de estructuras que se instalan bajo las jaulas, soportadas por el mismo sistema de flotación.

En el transcurso de los años y de acuerdo a diversos estudios realizados alrededor del mundo (BEVERIDGE, 1984; KUBITZA, 1999; PINZÓN-RAMÍREZ y ASSMUS, 2003; BEVERIDGE, 2004, entre otros) se ha demostrado cómo la calidad del agua y de los sedimentos alrededor de las piscícolas instaladas en lagos y embalses se ha ido deteriorando, afectando de forma sensible la productividad y aumentando los niveles de mortalidad de las pisciculturas. El modelo de capacidad de carga piscícola recomendado por la FAO (BEVERIDGE, 1984) muestra que el contenido de fósforo total en aguas superficiales no debe sobrepasar de 100 mg/m³ y que si llega a pasar de 250 mg/m³ el sistema colapsa, provocando mortandades masivas de peces en los cultivos.



1. Tolva para atrapar sedimentos
2. Mangueras conectadas a sistema air lift
3. Canaleta para recolección de los sedimentos
4. Tanque de recibo de sedimentos

Figura 4 – Esquema del sistema de manejo de sedimentos. Fuente: ENELL et al., 1984 (In: BEVERIDGE, 2004)

Esto ya ha ocurrido en diversos lugares en el mundo. En Colombia se recuerda el evento acaecido en el embalse de Betania en febrero del 2007. Nunca se pudieron determinar las causas reales de ese evento (una posible conjunción temporal de varios escenarios negativos) pero quedó en evidencia que los cultivos que más sufrieron eran los ubicados en ensenadas en donde la profundidad era menor, lo que llevó a que la mala condición del sedimento debajo de las jaulas flotantes afectará de forma directa y drástica la salud de los cultivos, con los resultados ya conocidos.

Esta situación de riesgo bajo la cual opera toda la piscicultura en jaulas flotantes obedece, entre otros, a dos factores interdependientes: la tecnología de construcción de jaulas y la localización de los cultivos en el espejo de agua. Dicha localización está condicionada directamente por la tecnología empleada. Dicho de otra forma, la localización actual de los cultivos, en las ensenadas, no son los mejores debido a que la tecnología constructiva de las jaulas flotantes no les permite a los piscicultores instalarse en aguas con mejores condiciones de calidad. Para ello sería necesaria la adopción de tecnologías más costosas para construir jaulas flotantes según la tecnología desarrollada por los noruegos y británicos

para la industria salmonera del Mar del Norte. Son grandes jaulas con sistemas de flotación flexible, que se adaptan a los fuertes oleajes que allí imperan y son resistentes a su embate, así como al del viento. Este sistema constructivo se emplea a gran escala alrededor del mundo, principalmente en cultivos de especies marinas. En términos ambientales, el hecho de que se localicen en aguas abiertas y desprotegidas, con grandes profundidades bajo ellas, significa que el impacto que ellos producen se diluye fácilmente.

En lagos y embalses poco profundos, la solución que se ha venido implementando es la de utilizar trampas de sedimento asociados a sistemas automatizados que retiran el sedimento atrapado, evitando que éste ingrese al ecosistema, con los efectos nefastos ya mencionados en el planteamiento del problema. Preliminarmente, la relación costo-beneficio, dada la tecnología constructiva de las jaulas flotantes operando en la laguna de Tota, favorece la implementación de este tipo de tecnología mediante adaptación de la infraestructura ya existente.

El estudio “Directrices para el ordenamiento pesquero y acuícola del lago de Tota (Boyacá)”, de PINZÓN-RAMÍREZ, ASSMUS, VALDERRAMA Y QUEVEDO (2012), colocó en evidencia un aporte estimado de aproximadamente 1/10 del aporte total de nutrientes que ingresan a la laguna bajo responsabilidad directa de la actividad piscícola (7/10 corresponderían a la agricultura de cebolla y 2/10 al aporte de aguas residuales domésticas). Obviamente, mientras no se realice el estudio de Capacidad de Carga Piscícola de la laguna de Tota, con la estimación de un balance real de masas, no se puede afirmar ni dimensionar con bajo grado de incertidumbre cual es el papel que juega la piscicultura de trucha en la alteración de la calidad del agua de ese cuerpo de agua. La validación y posterior adopción de la tecnología planteada le sale al paso a los señalamientos que actualmente se dan sobre la actividad piscícola en la laguna de Tota (y en la laguna de La Cocha – Nariño también), pues le permitiría a los piscicultores definir su real responsabilidad en este proceso, al independizar en gran medida (valor a ser estimado por este proyecto) su actividad económica de las externalidades que normalmente se asocian a la acuicultura en jaulas flotantes.

11. METODOLOGÍA

Se realizaron dos experimentos. Uno, utilizando un sistema de producción intensiva de levante de tilapia en la región de la Depresión Momposina mediante la utilización de tecnología de canales flotantes (In-Pond Raceway Systems – IPRS), asociados a sistema de succión y aprovechamiento de los lodos generados. El otro, colocando trampas de sedimentación bajo jaulas flotantes en donde se realiza levante de truchas, asociado a un sistema de succión, tratamiento y aprovechamiento de los lodos colectados.

Se abordaron tres objetivos principales en este estudio. El primero se basaba principalmente en evaluar la producción y capacidades de rendimiento con la instalación y puesta en marcha de estos sistemas. El segundo objetivo aborda la afectación de la calidad agua y sedimentos, estimando un balance aproximado de nutrientes. El tercer objetivo implicó un análisis económico para determinar la viabilidad comercial y posibilidades de los sistemas.

La descripción de las actividades realizadas se desglosa a seguir, en función del cumplimiento de los objetivos específicos.

11.1. Adecuación de la Infraestructura de producción

- **Canales Flotantes para cultivo de tilapia**

Las soluciones propuestas para Canales Flotantes ya estaban instaladas en virtud de la ejecución de la primera parte del proyecto “VALIDACIÓN DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALMENTE AMIGABLES PARA LA PISCICULTURA EN AGUAS ABIERTAS” ejecutado por la empresa Hidrosfera Ltda., en convenio con la AUNAP. Para esta segunda fase, éstos sufrieron modificaciones en el diseño estructural y de flotación, atendiendo a las recomendaciones de ese estudio.

Los Canales Flotantes se instalaron en el Reservorio artificial (Ciénaga Playafuera) de la finca Pedrosanto, municipio de Santa Ana, Magdalena (Figura 5), la cual es propiedad de la Federación Regional de Productores Agro-pesqueros, Ambientalistas y Mujer Rural de la Depresión Momposina - FERPAM.



Figura 5 – Vista satelital de la finca Pedrosanto y de la ciénaga Playafuera, en Santa Ana, Magdalena, indicando la localización de los tres canales flotantes. Fuente: Fundación Hidrosfera

Siguiendo las directrices expuestas inicialmente por MASSER y LAZUR (1997) y mejoradas por MASSER (2004), BROWN, CHAPPELL y BOYD (2011) y BROWN, BOYD y CHAPPELL (2012), la unidad productiva piloto está compuesta por tres (3) canales flotantes, cada uno de 18m de largo x 3m de ancho x 1.20m de profundidad. (Figura 6).

Anexo a la estructura se previa una pequeña plataforma en estibas plásticas en HDPE reciclado (resistente al agua) para la instalación del pozo de bombeo y sistema de aireación. Esta estructura se sustituyó por una canastilla de acero inoxidable pendiente del extremo del canal. La Figura 7 muestra la unidad de paneles fotovoltaicos y el gabinete conteniendo las baterías, alternadores y controles. En la Figura 8 se puede apreciar un corte esquemático de lo que es un canal flotante. En la Figura 9, se pueden notar las canastillas mencionadas.



Figura 6 – Montaje de un canal flotante. Fuente: Hidrosfera Ltda.



Fig. 7 – Unidad de generación fotovoltaica. Fuente: Hidrosfera Ltda.

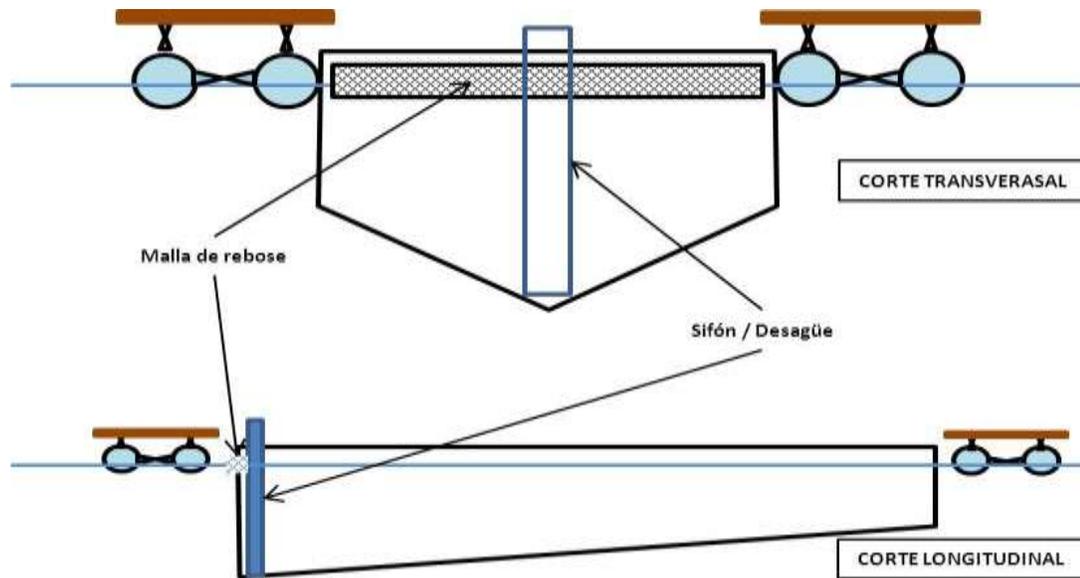


Figura 8 – Detalle en corte de los canales flotantes. Fuente: Hidrosfera Ltda.



Figura 9 – Panorámica de los tres canales flotantes. Instalación inicial. Fuente: Hidrosfera Ltda.

Durante la ejecución de esa primera fase del proyecto, realizada por HIDROSFERA Ltda., quedó en evidencia la necesidad de realizar un **refuerzo estructural** en los canales flotantes

ante posibles contingencias como la presentada el día 14 de octubre de 2013 cuando se presentó una creciente inédita en la quebrada Chimicuica, que alimenta el embalse, debido a las fuertes e intensas lluvias de la temporada invernal, lo cual resultó en la ruptura del jarrillón que hace las veces de muro de contención separando la represa de la ciénaga Playafuera. Esta situación significó la pérdida total de una de las estructuras y el daño de las otras dos.

Dicho refuerzo estructural se hizo con madera, lo cual significó, también, un refuerzo en el sistema de flotación mediante la incorporación de tambores plásticos de 55 Galones a la estructura.

Igualmente, durante la primera fase quedó en evidencia la incomodidad en las operaciones de rutina del cultivo, las cuales eran desarrolladas desde una canoa. Ante esta circunstancia se optó por la construcción de dos pasarelas internas y una externa, con tablonces de madera (Figura 10), lo cual estaba previsto inicialmente según el diseño de la Figura 8.



Figura 10 – Panorámica de los tres canales flotantes reforzados. Fuente: Fundación Hidrosfera

Cabe anotar que este tipo de estructura, y la forma como está fondeada difiere sustancialmente de los modelos descritos en la literatura en Norteamérica, pues no están

sujetos a estructuras fijas, sino con amarres semejantes a los que requiere una jaula flotante. Esto significa que el nivel del agua dentro de los recipientes es exactamente el mismo que existe afuera, no siendo afectados por los aportes debidos a lluvia o escorrentías, o por las pérdidas debidas a evaporación, lo cual significaría la introducción de incertidumbres en los balances generales.

- **Jaulas flotantes modificadas para la producción de trucha**



Figura 11 – Vista satelital de TRUCHICOL en la laguna de Tota. Fuente: Fundación Hidrosfera

De los resultados de la primera fase del estudio, realizada por HIDROSFERA Ltda., se desprende que las tolvas interferían seriamente en las rutinas del cultivo de la Piscifactoría REMAR S.A.S. en la laguna de Tota, ya que ellos cambian las jaulas de lugar según las necesidades, así como para la despesca en orilla, y las tolvas se convierten en una ancla de deriva que les dificulta, o aún les impide, estas maniobras. Esta empresa optó por una tecnología de aspiración directa de sedimentos bajo las jaulas, la cual está sujeta a validación y aprobación por parte de CORPOBOYACÁ. Esta situación significó una negativa por parte de esta empresa a continuar dentro de la alianza para el desarrollo del presente proyecto.

Ante esta situación se realizó un acuerdo con la empresa **TRUCHICOL**, de propiedad del sr. Ángel Munar, cuya infraestructura de cultivo (levante y engorde) se realiza mayoritariamente en jaulas cuadradas de 5 x 5 m que están fijas y próximas a la orilla. Éstas están dispuestas en forma de “tridente” con pasarelas de madera desde la orilla y marginando las jaulas, formando la figura de un “tridente” (Figura 11). Se escogieron tres jaulas, una en cada uno de los brazos externos del “tridente” y la tercera en la base del “tridente”, próxima a la pasarela de acceso, para la instalación de los tres colectores de sedimentos (Figura 12).

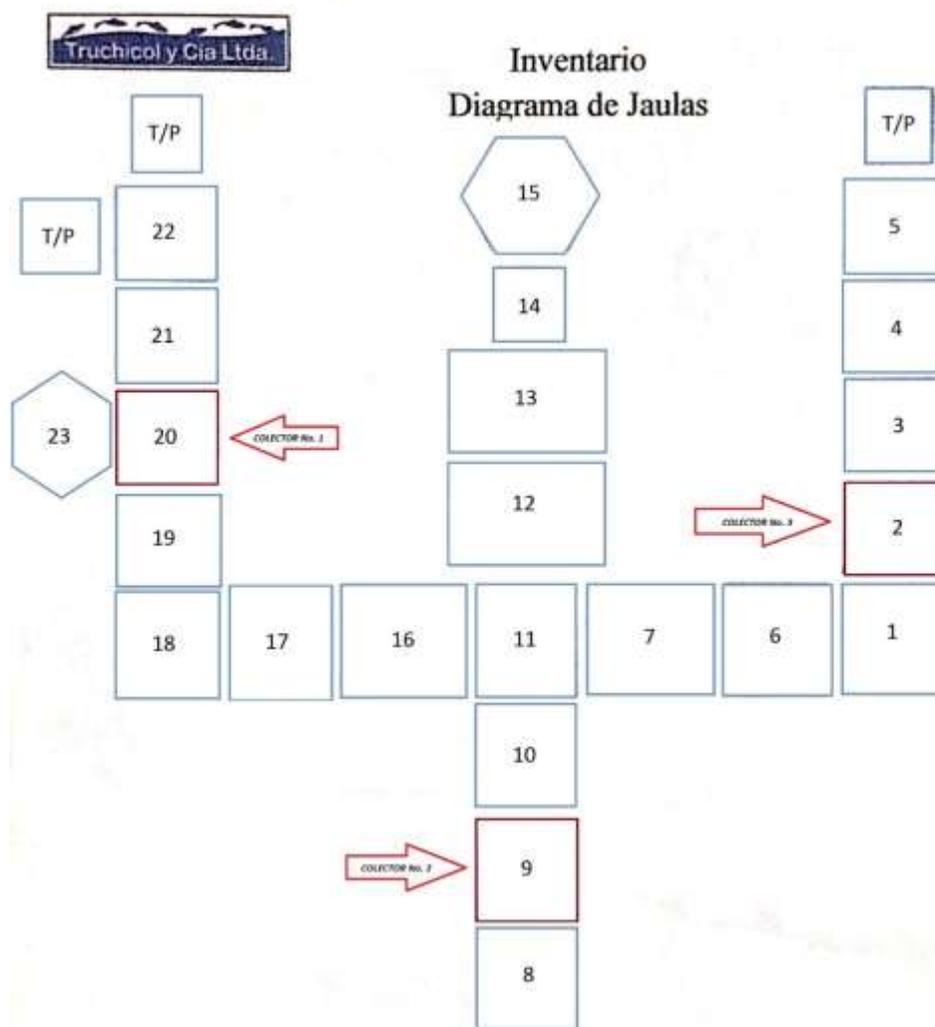


Figura 12 – Diagrama de ubicación de las jaulas con los colectores. Fuente: Fundación Hidrosfera

Las tolvas se construyeron en forma de pirámide truncada invertida, con la base mayor de 5 x 5 m y la base menor de 1 x 1 m. La canastilla de soporte fue construida en tubería y accesorios galvanizados de ¾" de diámetro y 0,4 de espesor (para gas), con una placa de resina poliéster reforzado con fibra de vidrio en la base menor, la cual da soporte al sifón (Figura 13).



Figura 13 – Canastilla de soporte de tolvas. Fuente: Fundación Hidrosfera



Figura 14 – Soldadura por calor de la lona de PVC. Fuente: Fundación Hidrosfera

Sobre esta estructura se instaló la tolva propiamente dicha, hecha de lona SINTEX de PVC flexible, de grado piscicultura, color azul, confeccionada mediante soldadura de calor (Figuras 14 y 15).



Figura 15 – Vista interna de la tolva. Fuente: Fundación Hidrosfera



Figura 16 – Detalle del sifón con campana de succión. Fuente: Fundación Hidrosfera



Figura 17 – Detalle de la instalación del sifón. Fuente: Fundación Hidrosfera



Figura 18 – Nishikoi 90° Bottom Drain. Fuente: Pentair/Aquatic Eco-Systems Inc

En la base menor, se instaló un sifón drenante (Nishikoi 90° Bottom Drain) con campana, acoplado a una manguera flexible de succión de 2” (Figuras 16, 17 y 18).

Para el diseño e implementación de estas trampas de sedimento se tomó como modelo las trampas de sedimento y sistemas de sifonamiento en operación en los cultivos de salmónidos en jaulas flotantes en Chile, los cuales, a su vez, han sido desarrollados en Suecia y Noruega, desde 1984 (BEVERIDGE, 2004), según Figura 18.

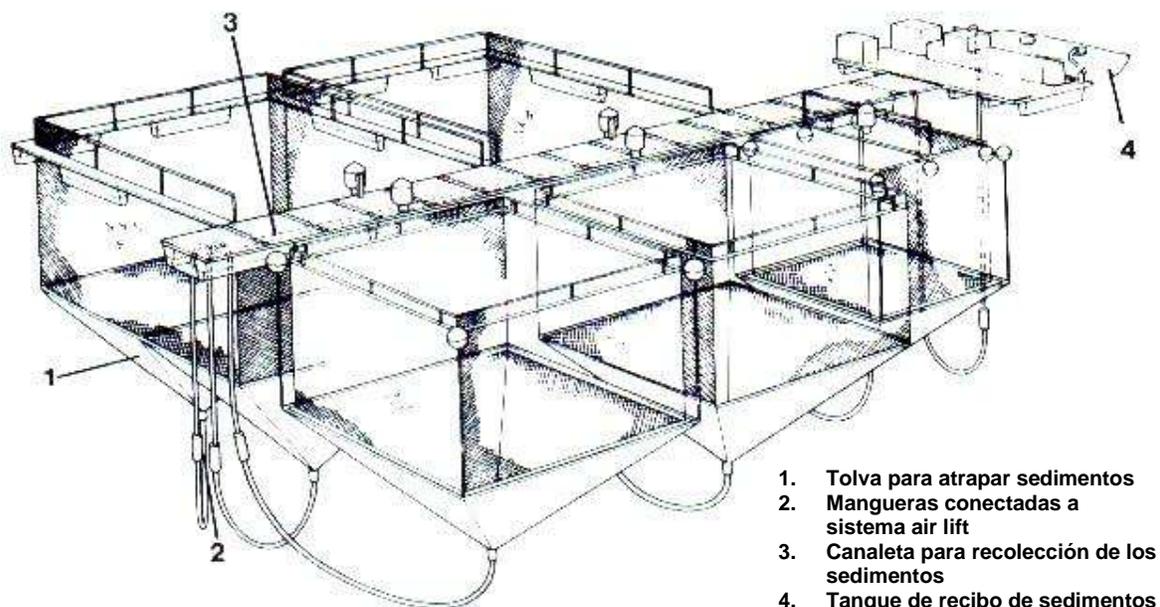


Figura 19 – Esquema del sistema de manejo de sedimentos. Fuente: ENELL et al., 1984 (In: BEVERIDGE, 2004)

El equipo de succión de sedimentos se compone de una bomba auto-cebante de 2 HP, 220 V, 3F con acople de 1 ½” y trampa de sólidos, manguera plástica de succión de 50’. (Figura 20).



Figura 20 – Elementos del sistema de succión. Fuente: Fundación Hidrosfera

El sedimento aspirado se lleva mediante una manguera de descarga a una tolva de decantación en donde se separa la fase sólida de la fase líquida (Figura 21).



Figura 21 – Tolva de decantación. Fuente: Fundación Hidrosfera



Figura 22 – Humedal Artificial de Flujo Sub-Superficial Horizontal. Fuente: Fundación Hidrosfera

Se trabaja por baches, lo cual permite separar el sedimento aspirado de cada jaula con fines de caracterización individual (nutrientes y peso seco). La fase líquida se pasa a un humedal artificial de flujo sub-superficial horizontal cuyo proceso de fitodepuración es realizado con juncos (*Juncus bogotensis*, Kunth) del mismo lago, antes de su vertimiento al mismo (Figura 22). Este sistema garantiza un vertimiento de excelente calidad, superando lo exigido por la norma de vertimientos. La fase sólida, una vez caracterizada se destina a la fertilización de cultivos de cebolla orgánica en el mismo predio, después de someterse a compostaje.

11.2. Evaluación de desempeño ambiental

La frecuencia de los muestreos y los parámetros de calidad de agua que se acompañan, tanto en los canales flotantes como en las jaulas flotantes, fueron:

Parámetro	Frecuencia	Método
Oxígeno Disuelto	Diario	Polarográfico / Oxímetro digital (<i>in situ</i>)
Temperatura	Diario	Termómetro Analógico (<i>in situ</i>)
pH	Diario	pH-metro (<i>in situ</i>)
Conductividad	Mensual	Polarográfico / Conductímetro Digital (<i>in situ</i>)

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

Salinidad	Mensual	Polarográfico / Conductímetro Digital (<i>in situ</i>)
Amonio	Mensual	Colorímetro / LaMotte · Smart 3 (<i>in situ</i>)
Dureza Total	Mensual	Colorímetro / LaMotte · Smart 3 (<i>in situ</i>)
Alcalinidad	Mensual	Colorímetro / LaMotte · Smart 3 (<i>in situ</i>)
Sólidos en Suspensión Totales	Mensual	Filtrado peso seco (Laboratorio LIAC)
Turbidez	Mensual	Colorímetro / LaMotte · Smart 3 (<i>in situ</i>)
Fósforo Total	Mensual	Colorímetro / LaMotte · Smart 3 (<i>in situ</i>)
Nitrógeno Total	Mensual	Colorímetro / LaMotte · Smart 3 (<i>in situ</i>)
Nitrógeno Amoniacal	Mensual	Colorímetro / LaMotte · Smart 3 (<i>in situ</i>)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Mensual	Titulación (Laboratorio LIAC)
Demanda Química de Oxígeno	Mensual	Titulación (Laboratorio LIAC)
Producción Primaria (Clorofila α)	Mensual	Fluorímetro portátil Turner Designs (<i>in situ</i>)
Caracterización de sedimentos del fondo de los canales y jaulas (Materia Orgánica y Fosforo Total)	Mensual	Muestreo con draga Ekman. Análisis en laboratorio Geocem.

Tabla No. 1. Lista de parámetros de calidad de agua y sedimentos

En las jaulas flotantes además se tomaron datos mensuales Coliformes Totales y Coliformes Fecales, una vez que se trata de un cultivo comercial. Para todos estos análisis se contó con el equipo de Hidrosfera Lab con el apoyo del Laboratorio LIAC, de la Universidad de La Salle, y de Geocem, ambos certificados por el IDEAM para estos parámetros.

En el caso de los Canales Flotantes las muestras se toman en tres puntos de muestreo de cada Canal Flotante, de acuerdo a las directrices de BROWN, BOYD y CHAPPELL (2012). Uno en el pozo de bombeo (entrada al sistema), otro en el centro de cada canal y un tercero a la salida del sistema. Se habilitaron los canales 1 y 3 para producción y se dejó el canal central de testigo. Los puntos de muestreo fueron: Punto # 1: Entrada canal 1; Punto # 2: Entrada canal 3; Punto # 3: Mitad canal 1; Punto # 4: Mitad canal 2 (Blanco); Punto # 5: Mitad canal 3; Punto # 6: Salida canales.

Los muestreos diarios, tanto ambientales como de producción, sólo se tomaron durante los primeros 22 días para el canal No. 1 y de 24 días para el canal No. 3, una vez que hubo la necesidad de transferir los alevinos a estanques en tierra debido a que el nivel del agua en la ciénaga se redujo a menos de 1 m de profundidad, situación en la que los canales flotantes

dejan de ser viables. Esta situación se agudiza ante la invasión de buchón-de-agua (*Eichornia crassipes*).

En el caso de las Jaulas Modificadas, para determinar los puntos de muestreo se determinó primero la dirección y sentido de la corriente superficial en el momento del muestreo. A seguir, se toma una muestra del agua 3 m antes de ingresar a la jaula, una muestra en el centro de la jaula y otra muestra 3 m después de haber pasado por la jaula. Todas a profundidad estándar de 1 m de profundidad que es la mitad de la altura de las jaulas, y media hora después de la alimentación. Se realizaron tres faenas de muestreo de parámetros mensuales.

El alimento concentrado desperdiciado, mezclado con las heces de los peces, que se recolecte con estos sistemas se pesa semanalmente y se extrapolará al área total del Canal Flotante y/o de la Jaula Modificada, para cuantificar el desperdicio total. Al final del ciclo se determinó el porcentaje de desperdicio. Se determinó un balance de masas tomando el fósforo como referencia, para lo cual deben ser considerados los contenidos de Fósforo Total en agua, en sedimento (trampas de sedimento), en biomasa de pez cultivado y en el alimento concentrado utilizado.

11.3. Evaluación de producción

Los datos productivos que se tomaron, tanto en los Canales Flotantes como en las Jaulas Modificadas, fueron alimento suministrado, alimento acumulado, peso de los animales, número de individuos, biomasa, lodo colectado, porcentaje en peso del lodo colectado en relación al alimento suministrado.

11.4. Evaluación económica

En relación a los Canales Flotantes no se pretende comprobar su factibilidad económica, ya que ese ejercicio se realizó el año anterior. Se evalúa la estructura de costos de producción y se hace un énfasis en el aprovechamiento de los lodos recolectados.

12. RESULTADOS

12.1. Evaluación de producción

- **Canales Flotantes para cultivo de tilapia**

A continuación se presentan los datos consolidados de los 22 días monitoreados para el Canal No. 1:

Producción Canal No. 1					
Día	Alimento Suministrado	Alimento Suministrado Acumulado	Biomasa	Lodo retenido	% de retención
1	800	800	1000,00		
2	800	1600	1532,38		
3	800	2400	2064,76		
4	1000	3400	2597,14		
5	1000	4400	3129,52	120	2,73%
6	1000	5400	3661,90		
7	1000	6400	4194,28		
8	1000	7400	4726,66		
9	1000	8400	5259,04	120	3,00%
10	1000	9400	5791,42		
11	1200	10600	6323,80		
12	1200	11800	6856,18		
13	1200	13000	7388,56	120	2,61%
14	1200	14200	7920,94		
15	1400	15600	8453,32		
16	1400	17000	8985,70		
17	1600	18600	9518,08		
18	1600	20200	10050,46	120	1,67%
19	1200	21400	10582,84		
20	1200	22600	11115,22		
21	1200	23800	11647,60		
22	1200	25000	12180,00	120	1,88%
				600	4,93%

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

			NETO	525,00	4,31%
--	--	--	------	--------	-------

Tabla No. 2. Datos de producción Canal Flotante No. 1

A continuación se presentan los datos consolidados de los 24 días monitoreados para el Canal No. 3:

Producción Canal No. 3					
Día	Alimento Suministrado (gr)	Alimento Suministrado Acumulado (gr)	Biomasa (gr)	Lodo retenido (gr)	% de retención
1	600	600	935,00		
2	600	1200	1200,86		
3	600	1800	1466,72		
4	350	2150	1732,58	155	2,91%
5	350	2500	1998,44		
6	200	2700	2264,30		
7	400	3100	2530,16		
8	400	3500	2796,02	155	1,62%
9	600	4100	3061,88		
10	600	4700	3327,74		
11	600	5300	3593,60		
12	600	5900	3859,46	155	1,12%
13	800	6700	4125,32		
14	250	6950	4391,18		
15	750	7700	4657,04		
16	800	8500	4922,90	155	0,86%
17	400	8900	5188,76		
18	800	9700	5454,62		
19	800	10500	5720,48		
20	800	11300	5986,34	155	0,69%
21	600	11900	6252,20		
22	800	12700	6518,06		
23	800	13500	6783,92		
24	800	14300	7050,00	155	0,58%
	14300			930	13,19%

			NETO	855,00	12,13%
--	--	--	------	--------	--------

Tabla No. 3. Datos de producción Canal Flotante No. 3

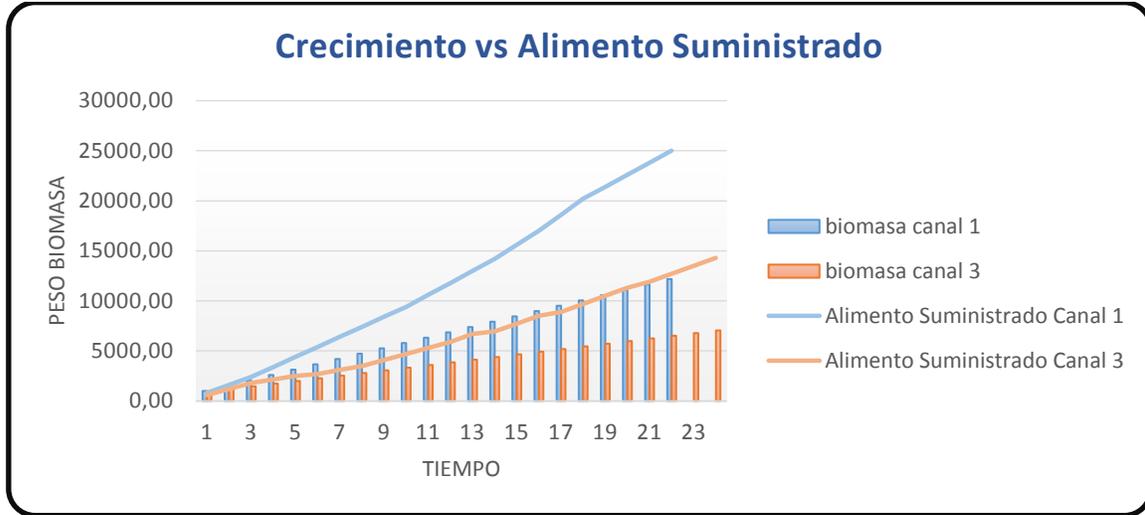


Figura No. 23. Crecimiento Vs. Alimento Suministrado – Canales Flotantes

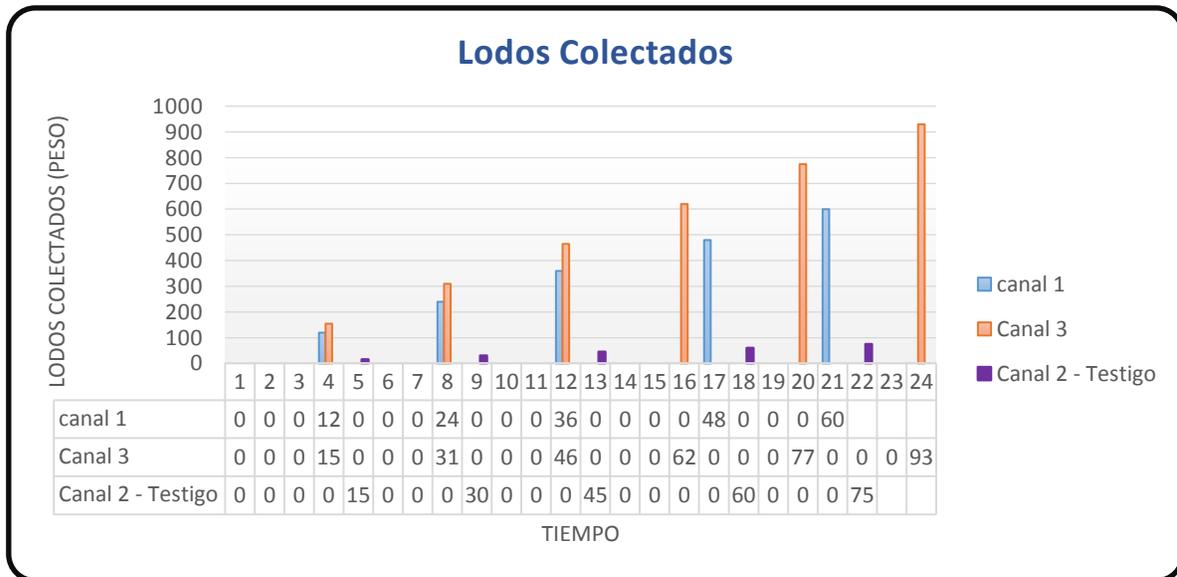


Figura No. 24. Lodos Colectados – Canales Flotantes

El canal No. 3 fue sembrado con un lote de alevinos de menor tamaño que los pertenecientes al lote sembrado en el canal No. 1. De ahí que las cantidades de alimento

suministrado sean diferentes. Sin embargo, las curvas de crecimiento son equivalentes, no así la cantidad de lodos colectados, habiendo mayor retención en el canal No. 3. De acuerdo a los resultados de retención de lodo residual vs alimento suministrado, se puede estimar que los canales flotantes retienen en promedio el 4.08% del peso del alimento concentrado suministrado. Los resultados del testigo (canal No. 2) deben ser restados para ambos canales, ya que corresponde a la sedimentación natural de los sólidos en suspensión presentes en la ciénaga. Estos lodos corresponden a la sumatoria de alimento no consumido (desperdicio neto) más las excretas de los peces, más los sólidos sedimentables presentes en la ciénaga.

El balance neto indica que gran parte del alimento no consumido en realidad no se sedimenta. Una parte puede permanecer en suspensión y salir de los canales y otra parte puede estar solubilizándose. Los resultados iniciales de SST indican que esto sí puede estar ocurriendo, pues se presenta un leve pero sostenido incremento en el canal 1 (ver Tablas No.9 y No. 10). Un balance de masas más preciso, utilizando radioisótopos, por ejemplo, puede arrojar luces sobre un balance de masas real.

- **Jaulas flotantes modificadas para la producción de trucha**

A continuación se presentan los datos consolidados de la producción de truchas en el lago de Tota para las tres jaulas con tolvas colectoras de lodos, a partir del 16 de diciembre de 2014 hasta el 25 de febrero de 2015:

Colector No. 1								
Fecha	Día cultivo	Alimento Suministrado	Alimento Acumulado	Peso Animal	Población	Biomasa	Lodo Colectado	% del alimento suministrado
16	1	17280	17280	45	4800	216000	895	
17	2	13892	31172	48,24	4799	231535	719	
18	3	14824	45996	51,49	4798	247065	768	
19	4	15755	61751	54,73	4798	262591	816	

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE
PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

20	5	16687	78438	57,98	4797	278111	864	1,46%
21	6	17618	96056	61,22	4796	293627	912	
22	7	18548	114604	64,46	4795	309137	960	
23	8	19479	134083	67,71	4795	324643	1009	
24	9	20409	154491	70,95	4794	340143	1057	1,16%
25	10	21338	175829	74,20	4793	355639	1105	
26	11	22268	198097	77,44	4792	371130	1153	
27	12	23197	221294	80,69	4792	386616	1201	
28	13	24126	245420	83,93	4791	402097	1249	1,17%
29	14	25054	270474	87,17	4790	417573	1297	
30	15	25983	296457	90,42	4789	433045	1345	
31	16	26911	323368	93,66	4789	448511	1393	
1	17	27838	351206	96,91	4788	463972	1441	
2	18	28766	379972	100,15	4787	479429	1489	1,45%
3	19	29693	409665	103,39	4786	494880	1537	
4	20	30620	440284	106,64	4786	510327	1585	
5	21	31546	471831	109,88	4785	525769	1633	
6	22	32472	504303	113,13	4784	541206	1681	
7	23	33398	537701	116,37	4783	556638	1729	
8	24	34324	572025	119,61	4783	572065	1777	
9	25	35249	607274	122,86	4782	587487	1825	1,69%
10	26	36174	643448	126,10	4781	602904	1873	
11	27	37099	680547	129,35	4780	618316	1921	
12	28	38023	718571	132,59	4780	633724	1969	
13	29	38948	757518	135,83	4779	649126	2017	
14	30	39871	797390	139,08	4778	664524	2065	
15	31	40795	838185	142,32	4777	679916	2112	
16	32	41718	879903	145,57	4777	695304	2160	2,03%
17	33	42641	922544	148,81	4776	710687	2208	
18	38	43564	966108	152,06	4775	726064	2256	
19	39	37078	1003186	155,30	4775	741558	1920	
20	40	37632	1040818	157,66	4774	752632	1949	
21	41	38185	1079003	160,02	4773	763701	1977	

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE
PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

22	42	38738	1117741	162,38	4771	774763	2006	
23	43	39291	1157032	164,74	4770	785821	2034	1,83%
24	44	39844	1196875	167,10	4769	796872	2063	
25	45	40396	1237271	169,46	4768	807918	2092	
26	46	40948	1278219	171,82	4766	818958	2120	
27	47	41500	1319719	174,18	4765	829992	2149	
28	48	42051	1361770	176,53	4764	841020	2177	
29	49	42602	1404372	178,89	4763	852043	2206	
30	50	43153	1447525	181,25	4762	863060	2234	1,74%
31	51	43704	1491228	183,61	4760	874071	2263	
1	52	44254	1535482	185,97	4759	885077	2291	
2	53	44804	1580286	188,33	4758	896077	2320	
3	54	45354	1625640	190,69	4757	907071	2348	
4	55	45903	1671543	193,05	4756	918059	2377	
5	56	46452	1717995	195,41	4754	929042	2405	
6	57	47001	1764996	197,77	4753	940018	2434	1,75%
7	58	47549	1812545	200,13	4752	950990	2462	
8	59	48098	1860643	202,49	4751	961955	2491	
9	60	48646	1909289	204,85	4749	972914	2519	
10	61	49193	1958482	207,21	4748	983868	2547	
11	62	49741	2008223	209,57	4747	994816	2576	
12	63	50288	2058511	211,93	4746	1005759	2604	
13	64	50835	2109346	214,29	4745	1016696	2632	1,75%
14	65	51381	2160727	216,64	4743	1027626	2661	
15	66	51928	2212654	219,00	4742	1038552	2689	
16	67	52474	2265128	221,36	4741	1049471	2717	
17	68	53019	2318147	223,72	4740	1060385	2745	
18	69	53565	2371712	226,08	4739	1071293	2774	
19	70	54110	2425822	228,44	4737	1082195	2802	
20	71	54655	2480476	230,80	4736	1093091	2830	1,76%
21	72	55199	2535675	233,16	4735	1103982	2858	
22	73	55743	2591419	235,52	4734	1114867	2886	
23	74	56287	2647706	237,88	4732	1125746	2915	

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

24	75	56831	2704537	240,24	4731	1136620	2943	
25	76	57375	2761912	242,60	4730	1147498	2971	1,27%

Tabla No. 4. Datos de producción Colector No. 1 - Tota

Colector No. 2								
Fecha	Día cultivo	Alimento Suministrado	Alimento Acumulado	Peso Animal	Población	Biomasa	Lodo Colectado	% del alimento suministrado
16	1	32160	32160	67,00	6000	402000	1665	
17	2	25080	57240	70,71	5912	417997	1299	
18	3	26000	83240	74,41	5824	433339	1346	
19	4	26882	110122	78,12	5735	448028	1392	
20	5	27724	137846	81,82	5647	462063	1436	1,54%
21	6	28527	166372	85,53	5559	475444	1477	
22	7	29290	195662	89,24	5471	488170	1517	
23	8	30015	225677	92,94	5382	500243	1554	
24	9	30700	256377	96,65	5294	511662	1590	1,20%
25	10	31346	287722	100,35	5206	522427	1623	
26	11	31952	319675	104,06	5118	532538	1654	
27	12	32520	352194	107,76	5029	541994	1684	
28	13	33048	385242	111,47	4941	550797	1711	1,21%
29	14	33537	418779	115,18	4853	558946	1737	
30	15	33986	452765	118,88	4765	566441	1760	
31	16	34397	487162	122,59	4676	573282	1781	
1	17	34768	521930	126,29	4588	579469	1800	
2	18	35100	557031	130,00	4500	585002	1817	1,52%
3	19	35393	592423	133,71	4412	589881	1833	
4	20	35646	628070	137,41	4324	594106	1846	
5	21	35861	663930	141,12	4235	597677	1857	
6	22	36036	699966	144,82	4147	600594	1866	

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE
PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

7	23	36171	736137	148,53	4059	602857	1873	
8	24	36268	772405	152,24	3971	604466	1878	
9	25	36325	808731	155,94	3882	605421	1881	2,15%
10	26	36343	845074	159,65	3794	605723	1882	
11	27	36322	881396	163,35	3706	605370	1881	
12	28	36262	917658	167,06	3618	604363	1878	
13	29	36162	953820	170,77	3529	602702	1872	
14	30	36023	989843	174,47	3441	600387	1865	
15	31	35845	1025688	178,18	3353	597419	1856	
16	32	35628	1061316	181,88	3265	593796	1845	2,20%
17	33	35371	1096687	185,59	3176	589519	1832	
18	38	35075	1131763	189,29	3088	584588	1816	
19	39	28950	1160713	193,00	3000	579000	1499	
20	40	29369	1190081	195,81	3000	587374	1521	
21	41	29787	1219869	198,62	2999	595747	1542	
22	42	30206	1250075	201,43	2999	604118	1564	
23	43	30624	1280699	204,24	2999	612487	1586	1,85%
24	44	31043	1311742	207,05	2999	620854	1607	
25	45	31461	1343203	209,86	2998	629220	1629	
26	46	31879	1375082	212,68	2998	637584	1651	
27	47	32297	1407379	215,49	2998	645947	1672	
28	48	32715	1440095	218,30	2997	654308	1694	
29	49	33133	1473228	221,11	2997	662667	1716	
30	50	33551	1506779	223,92	2997	671024	1737	1,74%
31	51	33969	1540748	226,73	2996	679380	1759	
1	52	34387	1575135	229,54	2996	687734	1781	
2	53	34804	1609939	232,35	2996	696087	1802	
3	54	35222	1645161	235,16	2996	704437	1824	
4	55	35639	1680800	237,97	2995	712786	1845	
5	56	36057	1716857	240,78	2995	721134	1867	

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

6	57	36474	1753331	243,59	2995	729480	1889	1,75%
7	58	36891	1790222	246,41	2994	737824	1910	
8	59	37308	1827531	249,22	2994	746166	1932	
9	60	37725	1865256	252,03	2994	754507	1953	
10	61	38142	1903398	254,84	2993	762846	1975	
11	62	38559	1941957	257,65	2993	771183	1997	
12	63	38976	1980933	260,46	2993	779519	2018	
13	64	39393	2020326	263,27	2993	787853	2040	1,75%
14	65	39809	2060135	266,08	2992	796186	2061	
15	66	40226	2100361	268,89	2992	804516	2083	
16	67	40642	2141003	271,70	2992	812845	2104	
17	68	41059	2182062	274,51	2991	821173	2126	
18	69	41475	2223537	277,32	2991	829499	2148	
19	70	41891	2265428	280,13	2991	837823	2169	
20	71	42307	2307735	282,95	2990	846145	2191	1,76%
21	72	42723	2350459	285,76	2990	854466	2212	
22	73	43139	2393598	288,57	2990	862785	2234	
23	74	43555	2437153	291,38	2990	871102	2255	
24	75	43971	2481124	294,19	2989	879418	2277	
25	76	44387	2525510	297,00	2989	887732	2298	1,27%

Tabla No. 5. Datos de producción Colector No. 2 - Tota

Colector No. 3								
Fecha	Día cultivo	Alimento Suministrado	Alimento Acumulado	Peso Animal	Población	Biomasa	Lodo Colectado	% del alimento suministrado
16	1	25710	25710	75,00	4285	321375	1331	
17	2	20171	45881	78,47	4284	336187	1044	
18	3	21060	66941	81,94	4283	350993	1090	

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE
PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

19	4	21948	88888	85,41	4283	365794	1136	1,26%
20	5	22835	111724	88,88	4282	380589	1182	
21	6	23723	135446	92,35	4281	395379	1228	
22	7	24610	160056	95,82	4280	410164	1274	
23	8	25497	185553	99,29	4280	424944	1320	1,18%
24	9	26383	211936	102,76	4279	439718	1366	
25	10	27269	239205	106,24	4278	454488	1412	
26	11	28155	267360	109,71	4277	469251	1458	
27	12	29041	296401	113,18	4277	484010	1504	1,19%
28	13	29926	326327	116,65	4276	498763	1550	
29	14	30811	357137	120,12	4275	513511	1595	
30	15	31695	388833	123,59	4274	528253	1641	
31	16	32579	421412	127,06	4274	542990	1687	1,19%
1	17	33463	454875	130,53	4273	557722	1733	
2	18	34347	489222	134,00	4272	572449	1778	
3	19	35230	524453	137,47	4271	587170	1824	
4	20	36113	560566	140,94	4270	601886	1870	1,20%
5	21	36996	597562	144,41	4270	616597	1916	
6	22	37878	635440	147,88	4269	631302	1961	
7	23	38760	674200	151,35	4268	646002	2007	
8	24	39642	713842	154,82	4267	660697	2053	
9	25	40523	754365	158,29	4267	675386	2098	1,49%
10	26	41404	795769	161,77	4266	690070	2144	
11	27	42285	838054	165,24	4265	704749	2190	
12	28	43165	881219	168,71	4264	719423	2235	
13	29	44045	925265	172,18	4264	734091	2281	
14	30	44925	970190	175,65	4263	748754	2326	
15	31	45805	1015995	179,12	4262	763411	2372	
16	32	46684	1062679	182,59	4261	778064	2417	2,05%
17	33	47563	1110241	186,06	4261	792711	2463	

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE
PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

18	38	48441	1158682	189,53	4260	807352	2508	
19	39	41099	1199782	193,00	4259	821987	2128	
20	40	40996	1240777	194,92	4206	819913	2123	
21	41	40882	1281659	196,84	4154	817637	2117	
22	42	40758	1322417	198,76	4101	815159	2110	
23	43	40624	1363041	200,68	4049	812479	2104	1,91%
24	44	40480	1403521	202,59	3996	809598	2096	
25	45	40326	1443847	204,51	3944	806515	2088	
26	46	40162	1484008	206,43	3891	803230	2080	
27	47	39987	1523995	208,35	3838	799744	2071	
28	48	39803	1563798	210,27	3786	796055	2061	
29	49	39608	1603406	212,19	3733	792165	2051	
30	50	39404	1642810	214,11	3681	788073	2040	1,84%
31	51	39189	1681999	216,03	3628	783780	2029	
1	52	38964	1720963	217,95	3576	779284	2018	
2	53	38729	1759693	219,86	3523	774587	2005	
3	54	38484	1798177	221,78	3470	769689	1993	
4	55	38229	1836406	223,70	3418	764588	1980	
5	56	37964	1874371	225,62	3365	759286	1966	
6	57	37689	1912060	227,54	3313	753782	1952	1,85%
7	58	37404	1949464	229,46	3260	748076	1937	
8	59	37108	1986572	231,38	3208	742168	1921	
9	60	36803	2023375	233,30	3155	736059	1906	
10	61	36487	2059862	235,22	3102	729748	1889	
11	62	36162	2096024	237,13	3050	723235	1872	
12	63	35826	2131850	239,05	2997	716520	1855	
13	64	35480	2167330	240,97	2945	709604	1837	1,86%
14	65	35124	2202455	242,89	2892	702486	1819	
15	66	34758	2237213	244,81	2840	695166	1800	
16	67	34382	2271595	246,73	2787	687644	1780	

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

17	68	33996	2305591	248,65	2734	679921	1760	
18	69	33600	2339191	250,57	2682	671996	1740	
19	70	33193	2372384	252,49	2629	663869	1719	
20	71	32777	2405161	254,40	2577	655540	1697	1,88%
21	72	32350	2437512	256,32	2524	647010	1675	
22	73	31914	2469426	258,24	2472	638278	1653	
23	74	31467	2500893	260,16	2419	629344	1629	
24	75	31010	2531903	262,08	2366	620208	1606	
25	76	30690	2562593	264,00	2325	613798	1589	1,33%

Tabla No. 6. Datos de producción Colector No. 3 – Tota

La labor de engorde de trucha presentó un comportamiento normal, no existiendo algún tipo de afectación por la presencia de las tolvas colectoras en ninguna de las tres jaulas evaluadas (Figura No. 25). Dada la cantidad de alimento suministrado, la cantidad de lodos colectados (desperdicio + excretas) puede acumularse en la tolvas en las retiradas semanales (Figura No. 26), existiendo riesgo inherente a la salud de los peces debido a una eventual acumulación de DBO bajo las jaulas. En razón de esta situación es recomendable realizar las succiones a cada tercer día.

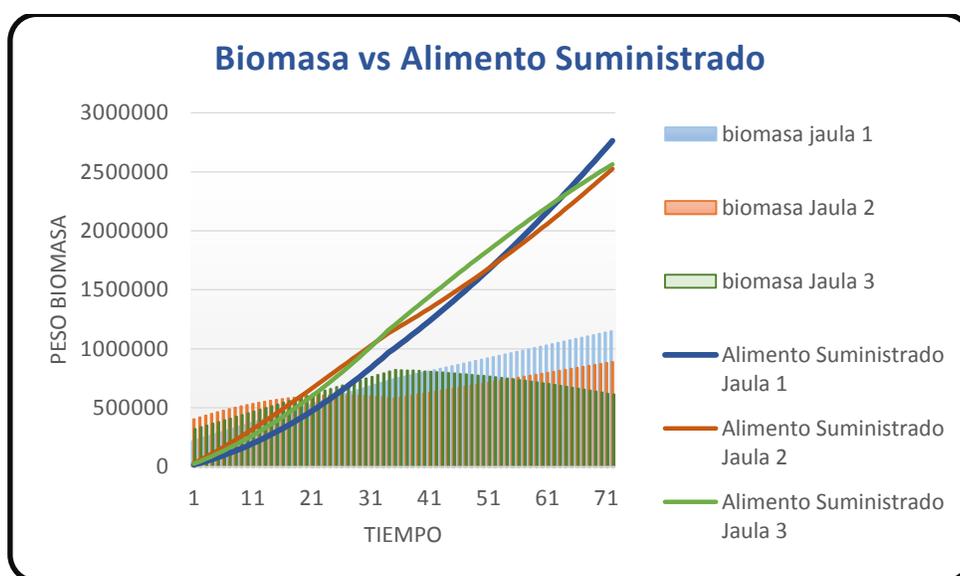


Figura No. 25. Biomasa Vs. Alimento Suministrado – Jaulas Modificadas

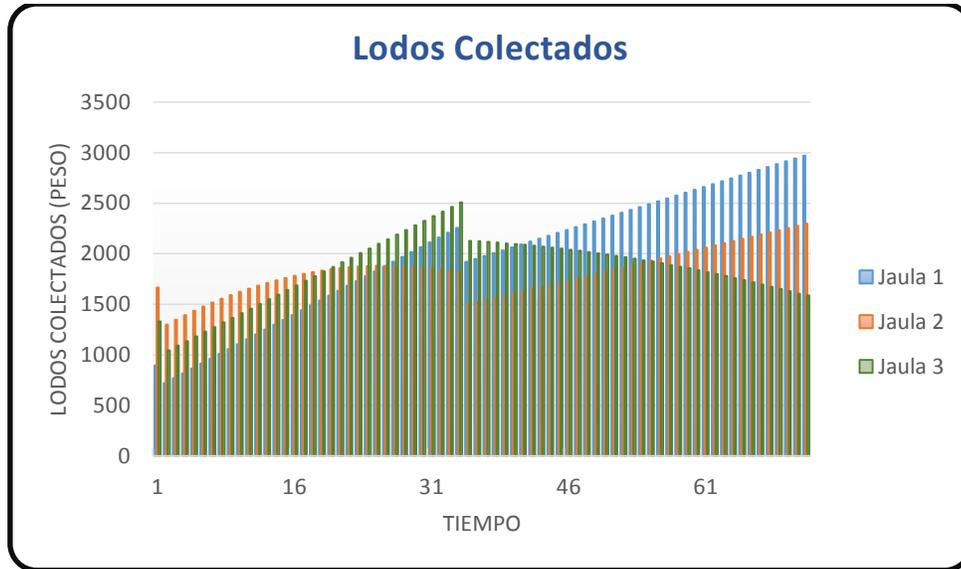


Figura No. 26. Lodos Colectados – Jaulas Modificadas - Tota

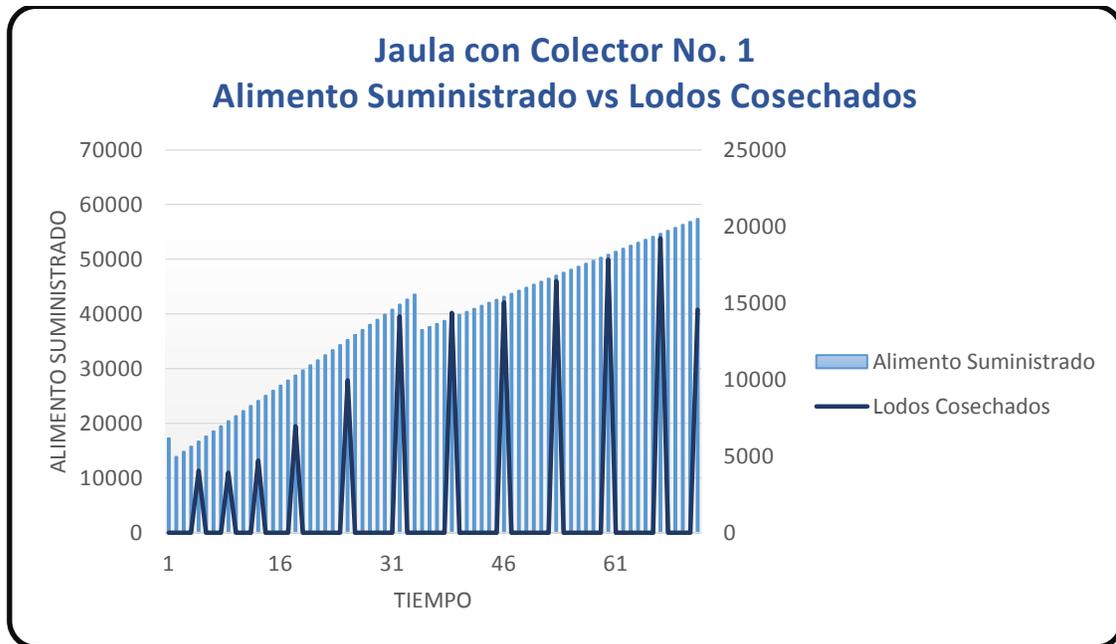


Figura No. 27. Alimento suministrado Vs Lodos colectados – Jaulas No. 1 - Tota

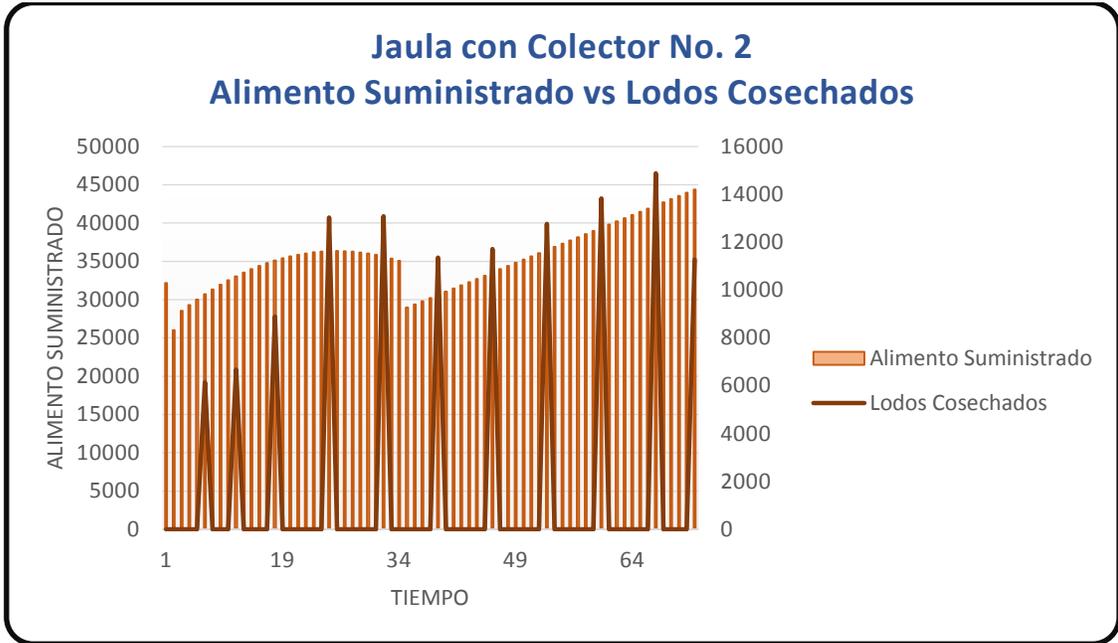


Figura No. 28. Alimento suministrado Vs Lodos colectados – Jaulas No. 2 - Tota

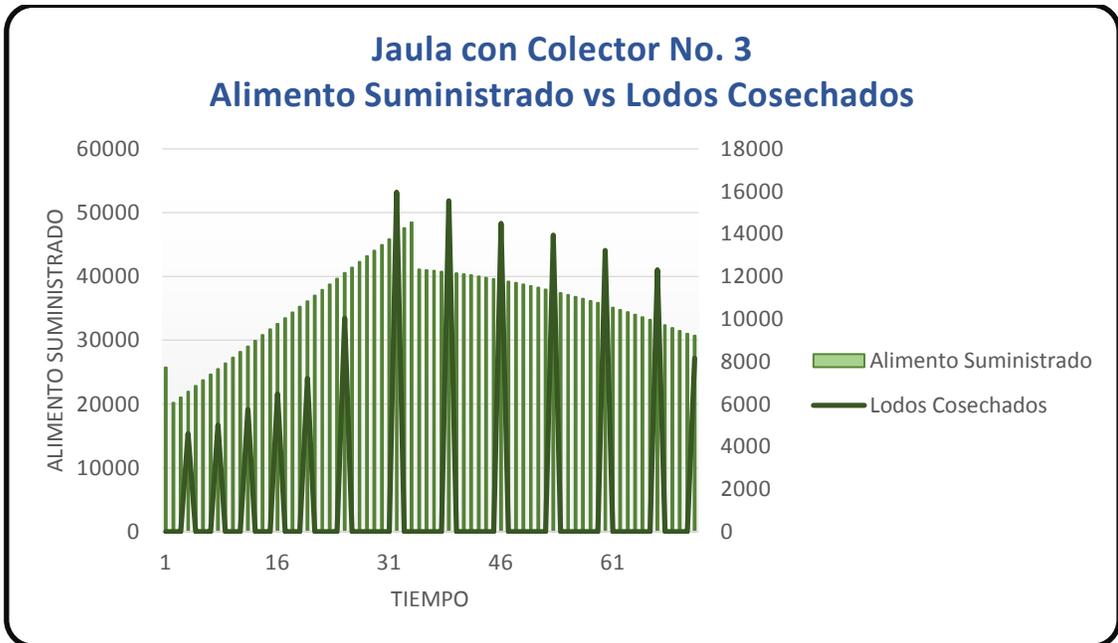


Figura No. 29. Alimento suministrado Vs Lodos colectados – Jaulas No. 3 - Tota

En las imágenes a seguir se puede apreciar la apariencia del lodo colectado en la jaula No. 2 con apenas tres (4) días de haberse instalado la tolva, antes de la aspiración para tratamiento.



Figura No. 30. Colecta de lodos antes de aspirado - Tota



Figura No. 31. Colecta de lodos antes de aspirado - Tota



Figura No. 32. Colecta de lodos antes de aspirado - Tota



Figura No. 33. Colecta de lodos antes de aspirado - Tota



Figura No. 30. Fase acuosa, después de proceso de decantación que ingresa al Humedal Artificial de Flujo Sub-Superficial Horizontal - Tota

12.2. Evaluación ambiental

- Canales Flotantes para cultivo de tilapia

Las condiciones iniciales de calidad de agua fueron las siguientes:

Parámetro	Puntos de muestreo					
	1	2	3	4	5	6
Oxígeno Disuelto (mg O ₂ /L)	4.20	4.30	3.32	3.31	3.30	3.83
Conductividad (μS/cm ³)	329.00	321.00	315.00	311.00	312.00	3.07
pH	8.46	8.28	8.14	9.26	8.70	9.46
SST (mg/L)	2.30	2.24	2.19	2.17	2.17	2.20
DBO (mg O ₂ /L)	83.00	122.00	183.00	106.00	99.00	112.00
DQO	128.00	188.00	282.00	163.00	153.00	173.00

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

(mg O ₂ /L)						
Nitrógeno Total (mg N/L)	2.00	1.94	1.44	2.04	1.13	1.63
Fósforo Total (mg P/L)	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50	< 0.50
Alcalinidad (ppm)	126.00	130.00	134.00	101.00	123.00	128.00
Dureza (ppm)	54.00	57.00	52.00	47.00	60.00	32.00
Nitrógeno Amonio (ppm)	0.11	0.08	0.14	0.06	0.08	0.12

Tabla No. 7. Condiciones iniciales de calidad de agua en Canales Flotantes

Se puede ver que las muestras 1 y 2 presentan los valores más altos de Oxígeno Disuelto. En el punto 6 se observa un aumento en el Oxígeno Disuelto luego de pasar por el sistema de canales. Los puntos 1 y 2 presentan los valores más altos en la conductividad en el agua. Los valores en el pH son inconstantes entre los puntos de muestreo. Se aprecia una ligera diferencia entre los valores fuera del sistema de canales (puntos 1, 2 y 6) en relación con los puntos internos (3, 4 y 5). Ni el DQO y el DBO estimado muestran un comportamiento en su resultado. Tanto el sistema interno como el externo presentan valores muy bajos de Fósforo.

Las condiciones iniciales de los sedimentos fueron:

Parámetro (Unidad)	Lugar	Valor
Fósforo Total (g N/100 g)	Embalse	<0.05
Fósforo Total (g N/100 g)	Testigo	0.41
Fósforo Total (g N/100 g)	Canales	0.11
Materia Orgánica (g MO/100 g)	Embalse	11.85
Materia Orgánica (g MO/100 g)	Testigo	47.53
Materia Orgánica (g MO/100 g)	Canales	37.40

Tabla No. 8. Calidad de sedimentos – Canales Flotantes

Los parámetros de calidad de agua tomados diariamente fueron:

CANAL No.1

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

Día	Temperatura °C	pH	SST mg/l	Oxígeno Disuelto mg/l
1	28,7	8,44	2,66	3,02
2	27,6	8,3	2,75	3,03
3	28,4	8,31	2,79	2,22
4	29,6	8,39	2,69	4,29
5	28,7	8,38	2,62	2,11
6	28,6	8,4	2,46	4,6
7	26,3	8,28	2,87	4,53
8	27,4	9,07	2,79	1,3
9	26,8	8,81	2,82	3,07
10	28,9	8,79	2,8	4,18
11	25,6	8,79	3,22	1,06
12	25,2	8,4	3,35	5,12
13	27,6	8,3	3,34	2,51
14	31,4	8,94	3,3	2,33
15	33,7	8,31	3,21	1,74
16	32	8,88	3,36	1,9
17	30,06	8,74	3,6	1,65
18	29,5	8,7	3,58	2,03
19	30,1	8,71	3,65	2,86
20	30,7	8,76	3,68	-
21	30,8	8,72	3,67	-
22	30,8	8,72	3,67	-

Tabla No. 9. Datos de calidad de agua Canal Flotante No. 1

CANAL No.3				
Día	Temperatura °C	pH	SST mg/l	Oxígeno Disuelto mg/l
1	27,3	8,3	2,6	3,05
2	27,4	8,5	2,59	3,10
3	26,6	8,49	2,56	2,75
4	29,8	8,4	2,7	4,11

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

5	29,8	8,3	2,69	2,20
6	29	8,32	2,58	4,80
7	27,9	9,07	2,79	4,93
8	27,9	8,38	2,64	2,1
9	26,1	8,3	2,8	3,19
10	26,9	8,32	2,81	4,55
11	25,1	8,4	3,35	2,01
12	25,7	8,39	3,36	5,07
13	27,8	8,35	3,3	3,11
14	28,7	8,39	3,32	2,64
15	31,8	8,28	3,28	2,24
16	33,6	8,75	3,29	2,98
17	32	8,59	3,52	2,15
18	30	8,49	3,5	2,13
19	29,5	8,45	3,49	3,16
20	30,1	8,46	3,46	-
21	30,6	8,46	3,46	-
22	30,8	8,42	3,45	-

Tabla No. 10. Datos de calidad de agua Canal Flotante No. 3

CANAL No. 2 – Testigo				
Día	Temperatura °C	pH	SST mg/l	Oxígeno Disuelto mg/l
1	29,4	9,87	2,44	3,12
2	29,3	9,8	2,47	3,26
3	26,7	9,79	2,4	2,98
4	27,9	9,62	2,58	4,01
5	27,8	9,54	2,58	3,00
6	28,2	9,52	2,62	4,50
7	27	9,06	2,47	4,43
8	28,6	8,58	2,68	2,94
9	25,8	10,2	2,56	3,37

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

10	28,4	10,12	2,62	4,12
11	25,4	10,21	2,87	2,62
12	26,4	8,41	3,38	4,67
13	28,7	8,32	3,32	3,86
14	29,4	10,29	2,91	2,90
15	33,5	9,92	2,84	2,78
16	33,5	10,27	2,88	3,36
17	29,9	10,36	2,98	2,74
18	30,4	10,38	2,96	2,45
19	29,3	10,4	2,98	3,85
20	30,3	10,42	2,88	-
21	30,3	10,42	2,89	-
22	30,3	10,41	2,89	-

Tabla No. 11. Datos de calidad de agua Canal Flotante No. 1

Se evidencia una leve tendencia al aumento en los valores de SST en ambos canales contra una estabilidad en el canal testigo. La única variable que afecta esta medición es el aumento de alimento suministrado y el aumento de biomasa (i.e. más excretas).

Siendo esta laguna inundable un sistema que cambia con la temporalidad (época de lluvia – época seca), presenta unas buenas condiciones naturales para el cultivo de peces. Sus valores de Oxígeno Disuelto son relativamente altos para este tipo de ambientes y el sistema no afecta mucho las condiciones naturales de la laguna al exterior, demostrando que es una buena alternativa para minimizar el impacto ambiental. Sin embargo, se nota una paulatina disminución en el Oxígeno Disuelto, en función de la pérdida de columna de agua y la invasión de buchón-de-agua (*Eichornia crassipes*).

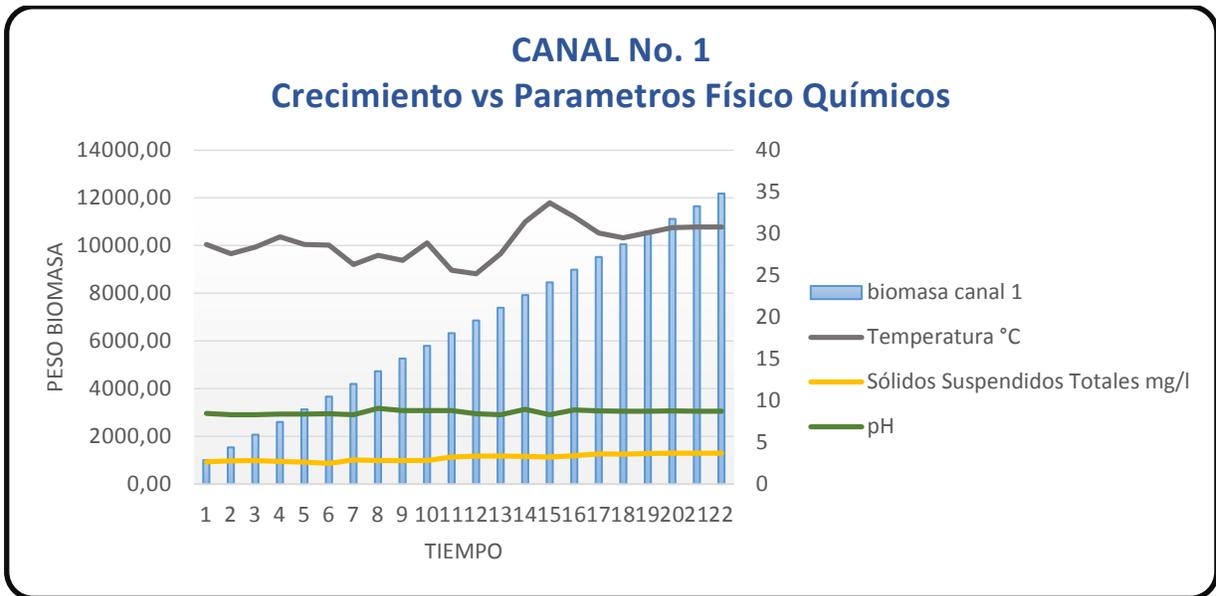


Figura No. 27. Crecimiento Vs. Parámetros físico-químicos – Canal No. 1

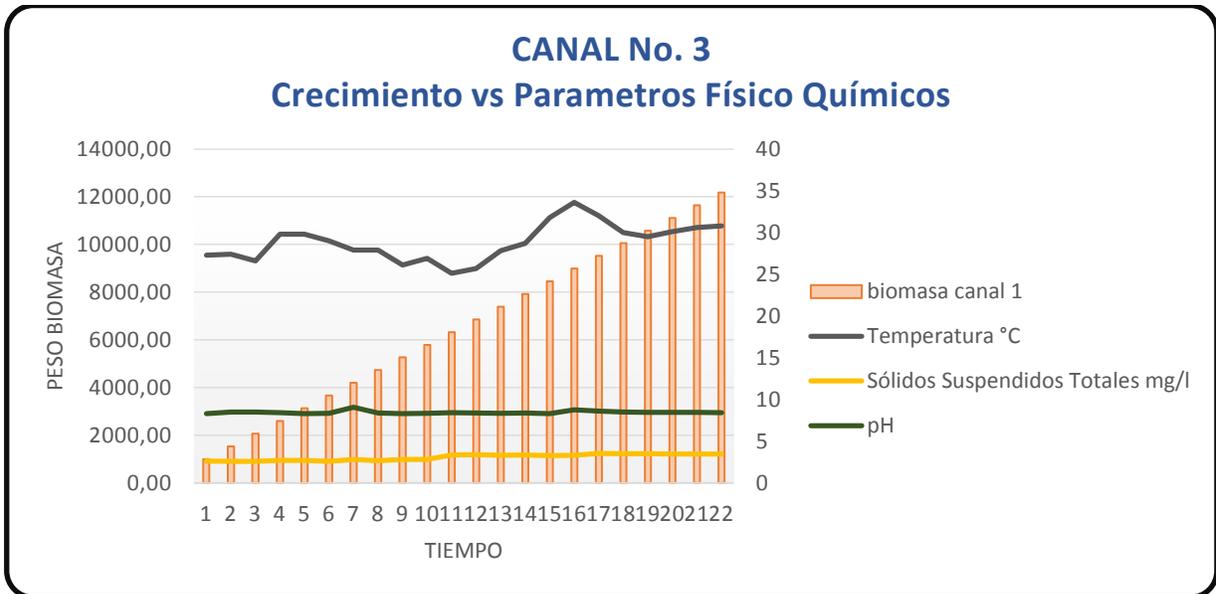


Figura No. 28. Crecimiento Vs. Parámetros físico-químicos – Canal No. 3

Las variaciones en los parámetros físico-químicos medidos (temperatura, pH, SST, OD) diariamente no inciden en el crecimiento de los alevinos de tilapia roja dentro de los canales flotantes.

- **Jaulas flotantes modificadas para la producción de trucha**

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

A continuación se presentan los datos de los parámetros de calidad de agua medidos en las tres campañas de muestreo en la piscícola Truchicol, en el lago de Tota.

Truchicol (diciembre 2014)				
Parámetro	Unidad	Jaula 1	Jaula 2	Jaula 3
Turbidez	FAU	2,00	2,00	2,00
Dureza	ppm	47,00	50,00	55,00
Clorofila	µg/l	115,90	85,23	107,60
Temperatura	° C	16,40	16,40	16,40
Conductividad	µS	88,20	88,60	83,30
TDS	ppm	61,00	61,80	58,10
pH	-	9,40	9,32	9,30
Salinidad	ppm	5,64	4,71	3,88
Disco Secchi	m	4,30	4,60	4,30
DBO	mgO ₂ /l	6,80	9,50	24,40
DQO	mgO ₂ /l	10,44	14,60	37,60
Nitritos	ppm	0,03	0,02	0,00
Nitratos	ppm	0,00	0,00	0,00
Nitrógeno Amoniacal	ppm	0,12	0,14	0,03
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm	0,53	< 0,1	< 0,1
Fósforo total	mg/l	0,033	0,089	0,029
Sulfuro	ppm	0,02	0,02	0,01
Alcalinidad	ppm	37,0	39,0	37,0
Coliformes Fecales	UFC/l	< 3	< 3	< 3
Coliformes Totales	UFC/l	< 3	< 3	< 3

Tabla No. 12. Datos de calidad de agua Truchicol – Diciembre 2014

Truchicol (enero 2015)				
Parámetro	Unidad	Jaula 1	Jaula 2	Jaula 3
Turbidez	FAU	2,10	2,10	2,10
Dureza	ppm	50,00	49,00	52,00
Clorofila	µg/l	114,00	105,32	110,76

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

Temperatura	° C	16,30	16,30	16,30
Conductividad	μS	85,10	84,50	84,50
TDS	ppm	59,00	59,90	60,10
pH	-	9,30	9,32	9,32
Salinidad	ppm	4,07	4,32	4,13
Disco Secchi	m	4,50	4,80	4,60
DBO	mgO ₂ /l	10,10	12,00	25,80
DQO	mgO ₂ /l	12,20	18,00	31,10
Nitritos	ppm	0,00	0,00	0,00
Nitratos	ppm	0,00	0,00	0,00
Nitrógeno Amoniacal	ppm	0,08	0,10	0,05
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Fósforo total	mg/l	0,054	0,094	0,044
Sulfuros	ppm	0,02	0,03	0,02
Alcalinidad	ppm	37,0	38,0	38,0
Coliformes Fecales	UFC/l	< 3	< 3	< 3
Coliformes Totales	UFC/l	< 3	< 3	< 3

Tabla No. 13. Datos de calidad de agua Truchicol – Enero 2015

Truchicol (febrero 2015)				
Parámetro	Unidad	Jaula 1	Jaula 2	Jaula 3
Turbidez	FAU	2,10	2,00	2,10
Dureza	ppm	50,00	51,00	52,00
Clorofila	μg/l	125,10	105,02	112,83
Temperatura	° C	16,20	16,20	16,20
Conductividad	μS	87,10	86,50	84,20
TDS	ppm	62,10	62,90	61,00
pH	-	9,30	9,30	9,30
Salinidad	ppm	4,12	4,35	4,08
Disco Secchi	m	4,20	4,50	4,40
DBO	mgO ₂ /l	18,00	17,70	32,90
DQO	mgO ₂ /l	11,60	12,90	28,40

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

Nitritos	ppm	0,02	0,00	0,00
Nitratos	ppm	0,00	0,00	0,00
Nitrógeno Amoniacal	ppm	0,14	0,15	0,10
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm	0,53	0,36	0,21
Fósforo total	mg/l	0,062	0,098	0,040
Sulfuro	ppm	0,03	0,03	0,03
Alcalinidad	ppm	38,0	38,0	37,0
Coliformes Fecales	UFC/l	< 3	< 3	< 3
Coliformes Totales	UFC/l	< 3	< 3	< 3

Tabla No. 14. Datos de calidad de agua Truchicol – Febrero 2015

Se notan leves incrementos globales en la productividad primaria y en parámetros como Fósforo Total, Conductividad, DBO, DQO y Sulfuros a lo largo de los tres meses de muestreo.

La jaula No. 3, la cual está localizada del lado receptor de las corrientes superficiales dominantes en el lago, por lo que en gran medida sus datos corresponden a mezcla de aguas “externas” con “internas”, es decir, tiene influencia más directa de la masa de agua del lago que del agua afectada por la actividad piscícola. Así, sus valores de producción primaria son más altos. Por el contrario, parámetros como Fósforo Total y DBO están más altos en la jaula No. 1, como era de esperarse. De una forma general se puede afirmar que la calidad del agua en el lago de Tota es óptima para la actividad piscícola, principalmente en lo relativo al ciclo del nitrógeno. Los datos relativos a calidad de sedimentos aparecen a continuación.

Sedimentos Truchicol (diciembre 2014)			
Parámetro (Unidad)	Jaula 1	Jaula 2	Jaula 3
pH	7,0	7,9	8,0
Fósforo Total (g N/100 g)	323	460	397
Materia Orgánica (g MO/100 g)	58,25	57,83	60,86
Sedimentos Truchicol (enero 2015)			
pH	7,4	7,5	7,3
Fósforo Total (g N/100 g)	345	451	403

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

Materia Orgánica (g MO/100 g)	60,05	57,94	61,57
Sedimentos Truchicol (febrero 2015)			
pH	7,5	7,2	7,8
Fósforo Total (g N/100 g)	380	463	405
Materia Orgánica (g MO/100 g)	61,02	59,33	62,18

Tabla No. 15. Datos de calidad de sedimentos Truchicol

No hay mucha variación en los valores medidos de calidad de sedimentos. Apenas se destaca que la jaula No. 2 presenta los valores más altos y eso se entiende porque es la más próxima de la orilla ocupando una posición más central en el diseño de la disposición de las jaulas.

12.3. Evaluación económica

- **Canales Flotantes para cultivo de tilapia**

COSTO DIRECTO DE LA CONSTRUCCION DE TRES CANALES FLOTANTES Y SU MANTENIMIENTO		\$ 58,454,947
Materiales	Valor	
(3) Geomembranas PVC - Syntex Colombia S.A.	\$ 14,642,100	
(3 Kit Solares) Ecoenergy Renovables	\$ 15,996,272	
(3) Bombas de Agua Sumergibles Rule - PENTAIR (Importado)	\$ 905,300	
(3) Compresores de Aire 12V. PENTAIR (Importado)	\$ 679,680	
(41) Accesorios de PVC para construcción de canales flotantes - PENTAIR (Importado)	\$ 2,866,424	
Estación del Sistema de Energía Solar Fotovoltaico	\$ 4,839,044	
Complementos Estructurales de los Canales Flotantes y Transportes de Materiales	\$ 14,312,127	
Mano de Obra Montaje Canales	\$ 3,842,000	
Mantenimiento del Sistema Solar Fotovoltaico	\$ 372,000	
Valor Unitario de un canal flotante		\$ 19,484,982

Tabla No. 16. Costos Directos Infraestructura – Canales Flotantes

Costos Directos de Producción	Valor Total
1500 Alevinos Sembrados en dos canales flotante para un total de 3.000	\$ 820.000

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

Alimentación para ciclo de 3 meses con una expectativa de crecimiento de 250 gr por animal	\$ 2.501.000
Mano de Obra proporcional a un salario desglosado con 4 horas diarias de cuidado del cultivo. \$ 356.460 y 3 meses de cultivo	\$ 1.800.000
Amortización de la inversión inicial de los equipos estimando 5 años de vida útil.	\$ 2.922.747
Total Costo Directo de producción	\$ 7.645.494
Costo Directo de Producción de 1 Kg de carne – Producción estimada en ciclo de 3 meses – 750 Kg	\$ 10.193,99

Tabla No. 17. Costos Directos de Producción – Canales Flotantes

Si observamos de la tabla anterior el costo de producción aumentó drásticamente debido a que este año, uno de los canales flotantes se dejó sin sembrar para que pudiese ser utilizado como testigo o blanco. Eso hizo que la producción se redujera en un 33% y el costo operacional y de mantenimiento fuera el mismo que para la operación de los tres canales como se hizo en el ensayo del año 2013 - 2014 con HIDROSFERA LTDA. En el presente ensayo lo más importante es determinar la eficiencia y viabilidad técnica de los canales flotantes como estructuras retenedoras de lodos residuales de la piscicultura y qué tanto mitigan el impacto de la actividad como tal.

De acuerdo a los resultados de retención de lodo residual vs alimento suministrado, se puede estimar que los canales flotantes retienen en promedio el 4.08% del alimento concentrado suministrado a manera de lodo residual. Eso, en términos de productividad para el cultivo de Tilapia Roja quiere decir que por cada kilo de Tilapia Roja producida, 40.8 g de excretas y alimentos no consumidos pueden ser recuperados y procesados para ser utilizados como base para compost agrícola. El kilo de compost de lombriz se vende comercialmente en Colombia aproximadamente en \$ 300, por lo que podemos inferir que 40.8 g de compost de pescado tendrían un valor aproximado a \$ 12.24. Ese ingreso adicional no lo tienen los cultivos convencionales de estanque en tierra, o los que utilizan las jaulas flotantes sin ningún tipo de estructura retenedora de lodos. Este valor puede aparecer como nominalmente muy bajo, y si le hacemos un análisis cuantitativo, seguramente la viabilidad económica de la recuperación de los lodos residuales de la piscicultura no sería favorable. Aquí nos enfrentamos con la incertidumbre de la valoración económica de un

servicio ambiental difícil de cuantificar, el cual necesitaría de un experimento de mayor porte y más largo aliento.

Los pocos datos recolectados muestran un rendimiento equivalente a un cultivo convencional en estanques en tierra. Eso significa que la estructura de canales flotantes en lona de PVC no afecta el crecimiento ni el rendimiento del engorde. El hecho de utilizar altas tasas de recambio y aireación, permite la posibilidad de manejar densidades de siembra y cultivo más altas que las usuales, constituyéndose esta tecnología en una ventaja frente a las tecnologías convencionales. Situación que se hace necesario validar con experimentos de largo aliento.

Desde el punto de vista socio-económico, este proyecto ha permitido que los 1.500 socios de FERPAM apropien el conocimiento y estamos seguros que con un apoyo efectivo para la réplica del proyecto en otros cuerpos de agua de la Depresión Momposina, la Mojana, el Guajaro o los miles de jagüeyes existentes en las fincas de la Costa Atlántica colombiana, los beneficiarios podrán ser muchos más.

- **Jaulas flotantes modificadas para la producción de trucha**

(3) COLECTORES DE SEDIMENTO PARA JAULA FLOTANTE DE CULTIVO DE TRUCHA		\$ 28,470,271
Estructura de la membrana y sistema de bombeo de lodos	\$ 3,655,852	
(3) Geomembrana PVC 800RF en forma de Pirámide Octogonal Truncada.	\$ 10,557,864	
(3) Estructura de la canastilla en tubería de acero galvanizado ½"	\$ 6,082,300	
Sistema de Tolva plástica para decantar los lodos residuales y un humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales resultantes	\$ 8,174,255	
Valor Unitario de una trampa de sedimento con sistema de retiro de lodos, bombeo y tratamiento de lodos y de aguas residuales		\$ 9,490,090

Tabla No. 18. Costos Directos Infraestructura – Jaulas modificadas

Costos Directos de Producción	Valor Total
50.000 Alevinos Sembrados en cada jaula flotante	\$ 9.000.000

**VALIDACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE DOS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN AGUAS ABIERTAS:
CANALES FLOTANTES PARA TILAPIA Y JAULAS FLOTANTES MODIFICADAS PARA TRUCHA**

Alimentación para ciclo de 6 meses con una expectativa de crecimiento de 400 – 500 gr por animal	\$ 44.129.400
Mano de Obra proporcional a un salario mínimo de cuidado del cultivo. \$ 967.000 y 5 meses de cultivo	\$ 4.835.000
Amortización de la inversión inicial de los equipos estimando 5 años de vida útil.	\$ 4.988.295
Total Costo Directo de producción	\$ 62.952.695
Costo Directo de Producción de 1 Kg de carne – Producción estimada en ciclo de 5 meses 16.454 Kg	\$ 3.825,98
Tasa de Conversión Alimenticia	1.30

Tabla No. 19. Costos de Producción – Jaulas modificadas

El sistema de tolvas retenedoras permitió extraer los lodos semanalmente durante tres meses del ciclo productivo del cultivo de trucha. De acuerdo a los resultados de retención de lodo residual vs. alimento suministrado, se puede estimar que estas estructuras retienen en promedio el 5.18% del alimento concentrado suministrado a manera de lodo residual. Eso, en términos de productividad para el cultivo de trucha, quiere decir que por cada kilo de trucha producida, 51.8 g de excretas y alimentos no consumidos pueden ser recuperados y procesados como compost agrícola. El kilo de compost de lombriz se vende comercialmente en Colombia aproximadamente en \$ 300, por lo que podemos inferir que si 51.8 gr de compost de pescado tendrían un valor aproximado a \$ 15.54. Ese ingreso adicional no lo tienen los cultivos convencionales de estanque en tierra, o los que utilizan las jaulas flotantes sin ningún tipo de estructura retenedora de lodos. Este valor puede aparecer como nominalmente muy bajo, y si le hacemos un análisis cuantitativo, seguramente la viabilidad económica de la recuperación de los lodos residuales de la piscicultura no sería favorable, ¿pero cómo cuantificar el impacto positivo ambiental de la solución sobre la eutrofización de las aguas?

A pesar del poco tiempo de colecta de datos, es posible evidenciar que la productividad en las jaulas no se ve afectada por la presencia de las tolvas bajo ellas. Existe entre los piscicultores la creencia de que una tolva bajo la jaula afecta la oxigenación, lo cual sería cierto si esta dependiera de corrientes de resurgencia o de convección. En el lago de Tota el proceso de oxigenación sucede en función de la mezcla horizontal, promovida por el viento, principalmente. Así siendo, la tolva no interfiere en ese proceso, como sí lo haría una malla colmatada por *biofouling* (perifiton), que impide la libre circulación del agua.

Al comparar los canales flotantes y las tolvas colectoras de las jaulas flotantes podemos encontrar resultados de retención muy similares, ya que los canales flotantes retuvieron el 4.08% del alimento suministrado y las jaulas flotantes el 5.18%, siendo estas levemente más eficientes. Esto puede deberse a la densidad, flotabilidad y consistencia de los *pellets* que son diferentes para trucha y para tilapia.

13. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al final de los experimentos se han obtenido datos holísticos de los dos sistemas evaluados, con los cuales se montarán las bases de datos necesarias para evaluar desde el punto de vista productivo (Mayor Producción, Menor Mortalidad, Menor Costo de Producción, Mejor Tasa de Conversión Alimenticia, Mejores Tallas, Eficiencia de Operación), del punto de vista económico (Mejores estados financieros proyectados) y desde el punto de vista ambiental (Mejores condiciones físicas y químicas posteriores a la cosecha), los resultados que permitirán determinar si las tecnologías propuestas son técnica, económica y ambientalmente viables.

A pesar de que se obtuvo un cuerpo de conocimiento sólido en lo referente a implementación de estas tecnologías, las evaluaciones previstas inicialmente se resienten ante el escaso volumen de datos, razón por la cual los resultados de este proyecto no pueden ser conclusivos, habiendo necesidad de muestreos suplementarios durante, al menos durante tres ciclos completos de producción, tanto para tilapia en canales flotantes como para trucha en jaulas flotantes modificadas.

Canales Flotantes

Si bien la tecnología de los Canales Flotantes es una excelente opción para el cultivo en cuerpos de agua someros, como las ciénagas, su correcto funcionamiento depende en gran medida de las variaciones batimétricas de estos cuerpos de agua. En nuestro caso, no se tenían registros de niveles bajos en la Ciénaga Playafuera de la finca Pedrosanto, municipio de Santa Ana, Magdalena, ya que esta funciona como un Reservatorio Artificial pues es el represamiento de la quebrada Chimuica. En este verano, con el inicio del Fenómeno de El Niño, anunciado por el IDEAM, la quebrada se secó y el nivel del agua embalsada fue

descendiendo rápidamente, promoviendo, además, una densificación del buchón-de-agua (*Eichornia crassipes*). Entrando en la tercera semana de cultivo hubo la necesidad de transferir todos los alevinos a estanques en tierra antes de que la profundidad de la columna de agua fuera inferior a la altura de los canales flotantes, con lo cual el experimento quedó truncado. La ciénaga se secó completamente. Esta situación debe revisarse al detalle para futuros proyectos que pretendan implementar esta tecnología, pues deben escogerse cuerpos de agua cuya profundidad en épocas de estiaje extremo, como el que se presenta durante el Fenómeno de El Niño, sea siempre superior a la altura del canal flotante.

La instalación de canales flotantes en ciénagas o en embalses localizados en regiones cenagosas, debe contemplar seriamente el ciclo de afectación del buchón-de-agua, taruya o tapón (*Eichornia crassipes*), la cual es una macrófita flotante considerada como especie exótica invasora. Esta planta posee una enorme capacidad de proliferación, pudiendo cubrir rápidamente grandes extensiones de espejo de agua. De hecho, así lo hace en TODOS los cuerpos de agua de la Depresión Momposina. Su ciclo de ocupación va de acuerdo al ciclo estacional de invierno/verano en la región, quedando “encerrada” en los cuerpos lacustres durante el verano, cuando cubre como un tapete grandes extensiones de espejo de agua. Esta situación afecta las condiciones de calidad de agua pues impide parcialmente el intercambio gaseoso agua-atmosfera y aporta gran cantidad de biomasa en descomposición al ecosistema. De esta forma el agua se acidifica, aumenta su DBO y exhibe bajos contenidos de oxígeno disuelto, afectando cualquier eventual cultivo piscícola.

Durante la temporada invernal los cuerpos de agua lacustres pasan a conectarse entre sí y con el cauce de los caños y el cauce del mismo río Magdalena. Al comenzar a circular el agua en esta red de ciénagas y canales, esta vegetación es arrastrada por las corrientes y algunos cuerpos lacustres quedan con su espejo de agua completamente libre, con lo cual mejora ostensiblemente la calidad de agua en ellos.

De acuerdo a estos ciclos, se recomienda que la instalación de canales flotantes se realice y sólo se utilice durante la temporada invernal. La selección de sitio DEBE contemplar la batimetría del lugar de forma asegurar al menos 1,20 de profundidad en verano. Igualmente, debe establecerse un área de protección en el espejo de agua alrededor de las instalaciones de canales flotantes, cuyo perímetro debe ser delimitado por una empalizada o cerca que

permita mantener del lado de afuera la biomasa de *E. crassipes*, lo cual permitiría controlarla mejor en caso de que supere esta barrera. Esta área de protección debe definirse de acuerdo a la batimetría del lugar y al área efectiva de los canales flotantes, debiendo corresponder, al menos, a cinco (5) veces el área de cultivo, de forma a permitir la mezcla de la columna de agua debida a factores climáticos (viento, pluviosidad y temperatura, básicamente) y una adecuada oxigenación.

Si se considera la instalación de canales flotantes en ensenadas protegidas de represas hidroeléctricas, que embalsan grandes volúmenes de agua y poseen grandes extensiones de espejo de agua, el asunto de las macrófitas queda a discreción del comportamiento de esta vegetación en el respectivo cuerpo de agua. En estos cuerpos de agua el principal criterio de selección de sitio viene a ser la batimetría. Para un eventual manejo de esta vegetación se recomienda la instalación de barreras flotantes con guadasas o boyas de barrera, que desvíen esta biomasa de acuerdo a las corrientes presentes en el lugar.

En los sistemas cenagosos, los sistemas de fondeo de los canales flotantes deben prever las fuertes variaciones en el nivel del agua a lo largo del año. Por tal motivo se recomienda la instalación de un marco de amarre, en donde se fijan los canales, el cual se fija al fondo con un sistema escualizable de polea/boya/lastre en la mitad de la manila de fondeo.

La utilización de bombas de membrana manuales para la retirada de sedimentos de los canales flotantes es una alternativa muy barata y eficiente, dado la poca profundidad a la cual debe trabajar. Aunque no es necesario pensar en sistemas más sofisticados como aquellos utilizados en las tolvas de las jaulas flotantes, la utilización de pequeñas bombas facilita la faena de recolección de lodos.

Se recomienda aumentar la capacidad de generación de energía fotovoltaica con el fin de darle capacidad de operación de 24 horas continuas. Igualmente, aumentar la capacidad de aireación del sistema. Esto, sin duda, redundará en una mayor productividad.

Tolvas Colectoras de Sedimentos en las Jaulas Flotantes

Las canastillas que sustentan las tolvas que sirven de trampas de sedimento en las jaulas flotantes deben asegurar la resistencia a los embates de las corrientes de agua sin

deformarse y sin dislocarse de su posición más de lo permisible. La distancia de 1 m entre el borde superior de la canastilla/tolva y el extremo inferior de la malla de la jaula, recomendada en los cultivos chilenos, parece ser una distancia óptima de trabajo. El dislocamiento de acuerdo a la corriente debe facilitarse si se utilizan manilas o sogas. En ningún momento debe pensarse en estructuras rígidas de soporte, puesto que ante una corriente medianamente fuerte, perdería su capacidad de retención de sedimentos. Estructura rígida y soporte flexible.

La geomembrana de PVC no soporta tensiones laterales, que la pueden rasgar. Lo importante es que esta quede sentada sobre la canastilla. Para tolvas grandes se recomienda utilizar anejo galvanizado en lugar de malla plástica para evitar deformidades como bolsas entre los espacios estructurales de la canastilla, y fijar la tolva tanto en el anillo superior como en el inferior.

El sistema de succión puede ser adaptado a un proceso semi-automático, semejante al descrito inicialmente por ENELL *et al.* (1984 (*in*: BEVERIDGE, 2004)), mediante la incorporación de sifones invertidos en el centro inferior de las tolvas, acoplados a mangueras como la utilizada, uno por cada tolva. De esta forma, la motobomba puede permanecer fija y protegida en la caseta-pontón que sirve de almacén en el cultivo. Para esta instalación, lo recomendable es cambiar el diseño de la tolva de modo a que el anillo inferior sea más pequeño y la inclinación sea superior.

La rutina de aspiración de los lodos colectados en las tolvas debe realizarse diariamente en todas y cada una de las jaulas. En su defecto, a cada tercer día. Es importante esto, puesto que la acumulación de materia orgánica a poco más de 1 m de la base de la jaula puede generar una DBO que afecte la salud de los peces siendo engordados.

El sistema de tratamiento de lodos (decantador + humedal artificial de flujo sub-superficial horizontal) demostró su eficiencia en el proceso.

Es necesario complementar esta investigación con análisis de nutrientes de los lodos colectados, con el fin de realizar las formulaciones de fertilización que se requieran para cada tipo de cultivo agrícola.

13.1. Evaluación de la producción

Canales Flotantes

Como ya fue mencionado, el comportamiento de la producción aparentemente corresponde con los equivalentes en estanques en tierra. Los datos obtenidos no permiten ser conclusivos. Sin embargo, uno de los objetivos a largo plazo, que quedan entre el tintero, es la comparación de la productividad bajo diferentes condiciones de densidad de siembra y de energía dispuesta para operar el sistema.

Los canales flotantes representan una tecnología sumamente dependiente del tema energético, por cuanto el agua DEBE estar en circulación de forma permanente o casi permanente, y debe asegurar, además una alta tasa de recambio, es decir unos niveles estables y permanentes de oxigenación en el sistema. Esto se torna vital en situaciones de aguas bajas (verano), cuando la calidad del agua que alimenta estos sistemas puede presentar valores críticos, no sólo en función de la masiva presencia del buchón (*E. crassipes*), que además de interferir en el intercambio gaseoso agua-atmosfera, aporta valores considerables de DBO, también porque la capacidad de dilución de estos cuerpos lacustres disminuye.

Jaulas Flotantes

Los pocos datos obtenidos no permiten conclusiones. Sin embargo, es de observarse que los datos de producción referentes a tres meses son óptimos y equivalentes a los presentados en las demás jaulas de engorde del mismo cultivo, dadas las condiciones de calidad de agua imperantes en el lago de Tota. No se presentó ninguna evidencia de que la presencia de la tolva tuviera incidencia en la producción y/o en la rutina de producción.

13.2. Evaluación ambiental

Canales Flotantes

Como ya se mencionó, las mejores condiciones de calidad de agua se presentan en temporada de aguas altas (invierno), al igual que las mejores condiciones de trabajo en función de la presencia del buchón-de-agua (*E. crassipes*).

El sistema de succión de sedimentos demostró ser muy práctico y barato. Los sedimentos (alimento no consumido + excretas) se filtraron en un tamiz de 45 micras y posteriormente dispuestos para secado e pesaje. Luego se añade a camas de lombricultura con el fin de utilizarlo como base para abono agrícola. Es de anotar que al sistema ingresan sólidos en suspensión provenientes del cuerpo de agua. Igualmente, partículas con micraje inferior pasan por el tamiz, razón por la cual hay que ajustar el balance de masas pretendido, incluyendo estos valores tanto como en SST como en Fósforo Total.

Jaulas Flotantes

El sistema de engorde de trucha en jaulas flotantes es extremadamente dependiente de la calidad del agua en el lago de Tota. La mayor parte del año recibe el viento de frente (sentido NW-SE), creando una corriente desde la zona lacustre abierta del lago (lago grande), en donde las condiciones de calidad de agua para la trucha son inmejorables.

La presencia de la tolva impide que burbujas de metano, provenientes de la degradación anaeróbica de la materia orgánica presente en el sedimento del lago ingresen a la jaula, por lo cual se constituye en una ventaja con la cual no cuentan las jaulas convencionales.

El oxígeno disuelto, debido a las corrientes superficiales que se generan en el lago, llega a las jaulas como un vector horizontal. De esta forma, la presencia de la tolva no representa una barrera.

Lo que si puede resultar delicado es la presencia de los sedimentos en la tolva durante largos periodos. Se recomienda su retirada de forma diaria o, en su defecto, máximo a cada tercer día.

13.3. Evaluación económica

Canales Flotantes

El costo de cada canal flotante, corregido a las características ya descritas en el capítulo de metodología, fue de \$19.484.982. Con una amortización de la inversión inicial de los equipos, estimando 5 años de vida útil, la incidencia en los costos de producción sobrepasa los \$5.000.000.

De esta forma, la incidencia de la presente tecnología en el costo de producción se sitúa alrededor del 40%, si consideramos un costo total directo de producción de \$10.193,99.

El precio actual de la Tilapia Roja fresca entera de la talla estimada en la costa Atlántica es de \$ 8.000/Kg por lo que se puede estimar que cuando el ciclo esté completo, un cultivo de canales flotantes puede llegar a tener una utilidad operacional aproximada que supera los \$6.000.000 (+/-35%).

Los costos de construcción de los canales van a variar en dependencia de la cercanía a los centros de abastecimiento de los materiales y de la necesidad de mano de obra calificada, principalmente para el termosellado de la geomembrana de PVC y para el montaje y puesta en marcha de las unidades fotovoltaicas. Igualmente, si se considera una economía de escala, se pueden bajar estos costos iniciales. Otro factor que incide fuertemente en los costos iniciales es el suministro de energía, pues estos sistemas son auto-suficientes (energía fotovoltaica). En caso de contarse con suministro de energía eléctrica de la red, los costos pueden bajarse alrededor de un 25% o más.

Por cada kilo de Tilapia Roja producida, 40.8 g de excretas y alimentos no consumidos pueden ser recuperados en los Canales Flotantes, y procesados para ser utilizados como base para compost agrícola. El kilo de compost de lombriz se vende comercialmente en Colombia aproximadamente en \$ 300, por lo que podemos inferir que 40.8 g de compost de pescado tendrían un valor aproximado a \$ 12.24. Ese ingreso adicional no lo tienen los cultivos convencionales de estanque en tierra y no representa mayor incidencia en la estructura de costos de producción.

Se hace necesario proseguir en el monitoreo de esta tecnología utilizando diferentes densidades de siembra. Teóricamente, este sistema permite el manejo de altas densidades

por cuanto se realiza una tasa de recambio de agua del orden del 200% al día y un oxígeno disuelto en oferta estable, situación que puede ser mejorada también.

Cuando se complete al menos tres ciclos completos de producción (levante y engorde) será posible efectuar los correspondientes análisis financieros con baja incertidumbre, y desarrollar, así, planes de negocio específicos para esta región cenagosa de la Costa Atlántica.

Es importante anotar que cuando esta tecnología sea divulgada y se optimicen los costos de construcción de los canales, y se opere con mayores densidades, la rentabilidad aumentará.

Jaulas Flotantes

Inicialmente, el sistema de succión de lodos se plantea como una solución centralizada, con una única inversión. De acuerdo al tamaño del cultivo y a la localización de la motobomba se define la potencia de la misma. Así, en nuestro caso, la motobomba es de 2 HP y está localizada próxima de las jaulas y puede operar succionando hasta profundidades de 10 m. En el caso de TRUCHICOL, el sólo hecho de haber localizado la motobomba en tierra, significó la necesidad de una mayor potencia, necesitando 5HP. En ambos casos se cuenta con suministro de energía eléctrica trifásica de 220 V de la red. Este condicionante debe ser llevado en consideración en el caso de implementar esta tecnología en el embalse de Betania, por ejemplo, en donde muy pocos cultivos cuentan con acometida de energía eléctrica.

Los costos derivados de la implementación de esta tecnología varían de acuerdo a la cantidad y dimensiones de las jaulas a ser modificadas y a los materiales utilizados. En nuestro caso, se da una incidencia de apenas \$37.960/m² de tolva. La incidencia de este valor en los costos de producción se sitúa muy por debajo del 10%.

Además, por cada kilo de trucha producida, 51.8 g de excretas y alimentos no consumidos pueden ser recuperados y procesados como compost agrícola. El kilo de compost de lombriz se vende comercialmente en Colombia aproximadamente en \$ 300, por lo que podemos inferir que si 51.8 gr de compost de pescado tendrían un valor aproximado a \$ 15.54. Ese

ingreso adicional no lo tienen los cultivos convencionales de estanque en tierra, o los que utilizan las jaulas flotantes sin ningún tipo de estructura retenedora de lodos.

Resaltando que el fin principal de las trampas de sedimento es de característica ambiental, se hace necesario a futuro estimar los costos derivados de mitigación del impacto ambiental en términos de valoración económica de servicios ambientales.

14. REFERENCIAS

- ALPASLAN, A. y PULATSÜ, A. (2008) - The Effect of Rainbow Trout (*Onchorynchus Mykiss* Walbaum 1792) Cage Culture on sediment quality in Kesikköprü Reservoir, Turkey. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 8: p. 65-70.
- AQUACULTURE STEWARDSHIP COUNCIL (2013) – ASC Freshwater Trout Standard. Version 1.0. Utrecht, The Netherlands
- BEAZ, J.D. (2008) – Ingeniería de la Acuicultura Marina – Instalaciones de peces en el mar. Observatorio Español de Acuicultura. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- BEVERIDGE, M.C.M. y STEWART, A.J. (1998) – Cage culture: limitations in lakes in reservoirs. In: Petr, T. (Ed.) Inland Fishery Enhancements. FAO Fisheries Technical Papers, 374. Roma
- BEVERIDGE, M.C.M. (1984) – Piscicultura en Jaulas y Corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente. FAO Doc. Tec. Pesca, T-255, Roma.
- BEVERIDGE, M.C.M. (2002) – Overview of Cage Culture – In: Woo, P.T.K; Bruno, D.W.; Lim, L.H.S. (Eds.) – Diseases and Disorders of Finfish in Cage Culture. CABI Publishing,
- BEVERIDGE, M.C.M. (2004) – Cage Aquaculture. (Third Edition) - Cambridge: Fishing News Books. Blackwell Science Ltd. Oxford. England. 3d Ed.
- BROWN, T.W.; BOYD C.L. y CHAPPELL, J.A. (2012) - Approximate Water and Chemical Budgets for an Experimental In-pond Raceway System. Journal of the World Aquaculture Society. Vol. 43, No. 4
- BROWN, T.W.; CHAPPELL, J.A. y BOYD C.L. (2011) - A commercial-scale, in-pond raceway system for Ictalurid catfish production. Aquacultural Engineering 44 72–79
- CALA, P.; GUILLOT, G.; MORA, G. y TÉLLEZ, L. (1992) - Estudio bioecológico de la *Oncorhynchus mykiss*. Revista Acad. Coloma. Cienc. 18 (70): 409-421.

- CANFIELD, D.E. Jr. *et al.* (1983) – Trophic state classification of lakes with aquatic macrophytes. *Can. Fish. Aquat. Sci.*, 40 (10): 1713-1718
- CARLSON, R.E. (1977) – A Trophic State Index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 22: 362-380
- CEPIS (1990) - Metodologías Simplificadas para la Evaluación de la Eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales. Modelo LACAT, Versión 1.0. Proyecto Regional CEPIS/OPS/HPE 1981-1990. Lima
- CORNETT, R.J. y RIGLER, F.H. (1979) – Hypolimnetic oxygen deficits: their prediction and interpretation. *Science Wash.*, 205: 580-1
- CORPOBOYACA & PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA (2005) - Formulación del Plan de Ordenación y manejo de la cuenca del Lago de Tota (POMCA). Documento Diagnóstico. Bogotá, D.C.
- CORPOBOYACA (2002) – Plan de Gestión Ambiental Regional 2002-2011: Proyecto: Establecimiento de una dinámica social para el desarrollo sostenible en la cuenca hidrográfica del Lago de Tota. Subdirección de Gestión Ambiental. Tunja, Colombia.
- CORPOBOYACA (2011) - Características de calidad de agua – cuenca del lago de Tota, Boletín Informativo No. 7, Tunja, Colombia.
- CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL – CCI (2011) - Estudio reproductivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en Colombia. Boletín semanal de Precios y Mercadeo, 7 (38): 1-4.
- DILLON, P.J. y RIGLER, F.H. (1975) – A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentration in lake water. *J. Fish. Res. Board Can.*, 32(9):1591-1531
- ESTRADA, M.; BELTRAN, I.C.; PADILLA, Y.; RODRIGUEZ, H.H. y SALAZAR, G. (2002) – El Ordenamiento Pesquero y Acuícola dentro del Ordenamiento Territorial y Ambiental – Manual Metodológico. INPA. Bogotá, D.C.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO (1997) - Aquaculture development. FAO Tech. Guide. Responsible Fisheries. Roma
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO (2010) - The State of World Fisheries and Aquaculture 2010. Rome.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO, (1993) - Avances en el manejo y aprovechamiento acuícola de embalses en América Latina y el Caribe. PROYECTO AQUILA II. FAO, DOCUMENTO DE CAMPO N°8. México.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO, (1995) - Código de Conducta para la Pesca Responsable. Roma. .

- FUNDACIÓN HUMEDALES (2010) – “Estudio de diseño, ejecución e implementación del programa regional pesquero y piscícola en la depresión Momposina de los municipios de Cicuco, Talaigua Nuevo, y Mompox del Departamento de Bolívar.” FUNDESCAT-Fundación Humedales. Informe Final. Mompox.
- GARCIA, A. y CALVARIO, O. (2003) - Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Trucha para la Inocuidad Alimentaria. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo - CIAD. Mazatlan, Mexico.
- GREENBERG, A. E.; EATON, D.; ANDREW; CLESCERI, L. S., y RICE, E. W. (2005) - Standard methods for the examination of water & wastewater. American Public of Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 21st edition. Port City Press, Baltimore, Maryland, U.S.A.
- GRØTTUM, J.A. y BEVERIDGE, M.C.M. (2008). A review of cage culture: northern Europe. *In: Halwarth, M; Soto, D y Arthur, JR (Eds.) (2008) – Acuicultura en jaulas – Estudios regionales y panorama mundial. FAO. Documentos Técnicos de Pesca No. 498. Roma*
- HÅKANSON, L. y CARLSSON, L. (1998) – Fish farming in lakes and acceptable total phosphorus loads: Calibrations, simulations and predictions using LEEDS model in Lake Southern Bullaren, Sweden. *Aquatic Ecosystem Health & Management, 1: 1-24*
- HALVER, J. (1972). Fish nutrición. Academic Press. New York.
- HALWARTH, M.; SOTO, D. y ARTHUR, J.R. (Eds.) (2008) – Acuicultura en jaulas – Estudios regionales y panorama mundial. FAO. Documentos Técnicos de Pesca No. 498. Roma
- HARTLEB, C. (2006) - Culture of Yellow Perch, Bluegill and Hybrid Bluegill Sunfish in Mobile Floating Raceways. Coolwater Fish Culture Workshop 2006. University of Wisconsin – Stevens Point
- HELLAWELL, J. (1986) - Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Ed. Elsevier applied science London and New York
- HIDROESTUDIOS-INGENIEROS CONSULTORES (1978). Estudio de conservación y manejo del Lago de Tota y su cuenca. Apéndice C. Estudios Ecológicos. CAR. Bogotá, D.C.
- HULBERT, S. H. (1984) - Pseudoreplication on the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs, 54: 187 - 211.*
- ILEC / PNUMA (2004) – La visión Global de los Lagos. International Lake Environment Committee Foundation / Programa de las Naciones Unidas del Medio Ambiente-Centro Internacional de Tecnología Ambiental (PNUMA-CITA) / Gobierno de la Prefectura de Shiga. Shiga, Japón.

- JONES, R.A. y LEE, G.F. (1982) – Recent advances in assessing impact of phosphorus loads on eutrophication-related water quality. *Water Res.*, 16: 503-515
- JØRGENSEN, S. E. (1980) – Water development, supply and management. Vol. 14. Lake management. Pergamon Press. Oxford.
- JØRGENSEN, S. E. (1989) – Use of Models In: JØRGENSEN, S.E. & VOLLENWEIDER, R.A. (Eds.) – Principles of Lake Management – Guidelines of Lake Management, Vol. 9 – International Lake Environment Committee Foundation (ILEC). Shiga (Japón)
- JØRGENSEN, S.E. y VOLLENWEIDER, R.A. (1989) – Principles of Lake Management – Guidelines of Lake Management, Vol. 9 – International Lake Environment Committee Foundation (ILEC). Shiga (Japón)
- KWEI LIN, C y YANG YI (2003) - Minimizing environmental impacts of freshwater aquaculture and reuse of pond effluents and mud. *Aquaculture* 226: 57–68
- KUBITZA, F. (1999) - Tanques-rede, Rações e Impacto Ambiental. *Panorama da AQUICULTURA*, Vol. 9, No. 51. Rio de Janeiro.
- LALL, S.P. (1979) - In “Finfish Nutrition and fishfeed technology” Vol.1. Heeneman, Alemania.
- LARSEN, D.P. y MERCIER H.T., (1976) - Phosphorus retention capacity of lakes. *J.Fish.Res.Board.Can.*, 33(8):1742-50
- MARGALEF R. (1983) – Limnología. Ediciones Omega. Barcelona.
- MARGALEF, R. (1993) – Teoría de los Sistemas Ecológicos. Publicacions de la Universitat de Barcelona. 2ª Ed. Barcelona.
- MASSER M.P. y LAZUR A. (1997) - In-pond raceways. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 170.
- MASSER, M.P. (2004) - Cages and In-pond Raceways (Cap 17 In: Biology and Culture of Channel Catfish C.S. Tucker and J.A. Hargreaves (Editors). Elsevier B.V. Amsterdam
- MINISTERIO DE AGRICULTURA (2011) - Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia, Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia, FAO INCODER. Bogotá.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (2005) - Observatorio Agrocadenas Colombia, Documento de Trabajo No. 72, Bogotá. 43pp.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (2010) - Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena Productiva de la Trucha Arco Iris en el Departamento de Antioquia, Bogotá – Colombia

- MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR (Mincomex). (2003) Perfil Cadena Piscicultura de exportación: tilapia, trucha y cachama. Dirección de competitividad. Bogotá.
- NUÑEZ, P. y SOMOZA, G. (2010) - Guía de Buenas Practicas de Producción Acuícola para Trucha Arco Iris. ADENEU (Agencia del Desarrollo Económico del Neuquén, Neuquén, Argentina.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) (1982) - Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and Control. Paris. OECD, p.154
- PETR, T. (1998) – Inland Fishery Enhancements. FAO Fisheries Technical Papers, 374. Roma
- PINZÓN-RAMÍREZ, F. y ASSMUS, J. (2003) – Determinación de la Capacidad de Carga Piscícola y su distribución espacial en el cuerpo de agua del embalse de Betania (Huila), teniendo en cuenta los múltiples usos propuestos para este cuerpo de agua – Informe Final (presentado a la Corporación Regional Autónoma del Alto Magdalena – CAM) HIDROSFERA LTDA., Bogotá, D.C.
- PINZÓN-RAMÍREZ, F. y DEBERDT, G.L.B. (2000) – “Bases ecotoxicológicas para a avaliação, monitoração e gerenciamento da eutroficação”. Seminário Internacional "Represa do Lobo-Broa 30 anos de Pesquisa em Limnologia, Gerenciamento e Participação da Comunidade" e "Bases Científicas para o Gerenciamento da Eutrofização" (Resumos). IEE, CRHEA/EESC/USP e DEBE/UFSCar. São Carlos.
- PINZÓN-RAMÍREZ, F. (2001) – Avaliação de Risco Ambiental: uma aproximação metodológica ao diagnóstico da saúde dos ecossistemas. Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Ambiental. Centro de Recursos Hídricos e Ecología Aplicada / Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo. São Carlos.
- PINZÓN-RAMÍREZ, F.; ASSMUS, J.; VALDERRAMA, M. y QUEVEDO, Y. (2012) - Directrices para el ordenamiento pesquero y acuícola del lago de Tota (Boyacá). INCODER. Bogotá/Tunja.
- RAGASH, (2009) – Manual de crianza Trucha. CEDEP Antamina, Perú
- RAMÍREZ, A.; RESTREPO, R. y CARDEÑOSA, M. (1999) - Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulaciones. Ciencia Tecnología y Futuro 1(5): 89-99.
- RAMÍREZ, A.; RESTREPO, R. y VIÑA, G. (1997) - Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. Ciencia tecnología y futuro 1(3): 135 - 153.
- RAMÍREZ, A. y VIÑA, G. (1998) – Limnología Colombiana. Fundación Universidad de Bogotá “Jorge Tadeo Lozano”. Bogotá.

- SALAS, H.J. y MARTINO, P. (1991) – A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. *Wat. Res.*, 25 (3):341-350
- STRAŠKRABA, M. y TUNDISI, J. G. (1999) – Reservoir Water Quality Management – Guidelines of Lake Management, Vol. 9 – International Lake Environment Committee Foundation (ILEC). Shiga (Japón)
- STRAŠKRABA, M. (1994) – Ecotechnological models for Reservoir Water Quality Management. *Ecological Modelling*, 74:1-38
- TACON, AGJ y HALWARTH, M. (2008) - La acuicultura en jaulas: un panorama mundial. *In: Halwarth, M; Soto, D y Arthur, JR (Eds.) (2008) – Acuicultura en jaulas – Estudios regionales y panorama mundial. FAO. Documentos Técnicos de Pesca No. 498. Roma*
- TORRES, H. M. (1997) – Efecto de las actividades antrópicas en el estado trófico del lago de Tota. Memos de investigación, No. 433. Centro de Documentación / Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes, Bogotá.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1999) – Protocol for Developing Nutrient TMDLs. EPA 841-B-99-007. Washington, DC.
- VOLLENWEIDER, R.A. (1968) – Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factor of eutrophication. OECD, Technical Report (DA5/SU/68.27). Paris
- VOLLENWEIDER, R.A. (1976) – Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 33: 53-83
- VOLLENWEIDER, R.A. (1983a) – Informe sobre el Lago de Tota. Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud. Proyecto COL-2302 “Protección de los recursos hídricos de la Sabana de Bogotá”. Bogotá.
- VOLLENWEIDER, R.A. (1983b) – Eutrophication. Notes distributed during the II Meeting of the Regional Project on the Eutrophication of Tropical Lakes.
- WADSWORTH, S y ROJAS, A. (2008) - Estudio de la acuicultura en jaulas: América Latina y el Caribe. *In: Halwarth, M; Soto, D y Arthur, JR (Eds.) (2008) – Acuicultura en jaulas – Estudios regionales y panorama mundial. FAO. Documentos Técnicos de Pesca No. 498. Roma*
- WELCH, E.B. (1980) – Ecological effects of waste water. Cambridge University Press. Cambridge.
- WOYNAROVICH, A.; HOITSY, G. y MOUTH POULSEN, T. (2011) - Small Scale rainbow trout farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 561. FAO, Rome, Italy.

WWF (2009) – International Standards for Responsible Tilapia Aquaculture. World Wildlife Fund, Inc.

WWF (2012) – FRESHWATER TROUT AQUACULTURE DIALOGUE. Draft standards for environmentally and socially responsible trout farming. World Wildlife Fund, Inc.
