

**CARACTERIZACION Y ESTUDIO DE TRATABILIDAD DEL  
EFLUENTE DE ESTACIONES PISCICOLAS**



**Carlos Andrés De la cruz García  
Andrés Felipe Salazar Fernández**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
POPAYAN  
2007**

**CARACTERIZACION Y ESTUDIO DE TRATABILIDAD DEL  
EFLUENTE DE ESTACIONES PISCÍCOLAS**

**Carlos Andrés De la cruz García  
Andrés Felipe Salazar Fernández**

**Proyecto de grado  
para aspirar al título de  
Ingeniero Ambiental**

**Director del Trabajo:  
Ing. Javier Fernández M. MSc.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
POPAYAN  
2007**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Firma Jurado**

---

**Firma Jurado**

**Popayán, Agosto de 2007.**

## **Hoja de dedicatoria**

A mi familia por todos los sacrificios...

A mis amigos por su amistad y compañía...

A Tania por su apoyo, comprensión y cariño...

**Carlos Andrés De la Cruz García**

A mi madre Mercedes, por su constante y desinteresado apoyo en el transcurso de toda mi vida como estudiante.

A mi hermano Jaime, por ser un pilar y una guía en todos los aspectos de mi vida.

A mi hermana Daniela, por su compañía incondicional

A mi hijo Juan Felipe, por darme esa fe y esperanza de un mundo mejor.

A María Ximena, por la colaboración y su amor todo el tiempo.

A mis amigos que siempre me dieron ejemplo de perseverancia

Y esta dedicatoria va especialmente a mi Padre que desde el cielo siempre me acompaña y me colma de mil bendiciones para atravesar caminos inciertos y desconocidos.

**Andrés Felipe Salazar Fernández**

## Hoja de agradecimientos

Los autores de este documento agradecen su apoyo y colaboración a:

Nuestro director de proyecto de grado Ing. Javier E. Fernández Msc.  
Por su dedicación, paciencia, colaboración y guía durante todo este proceso.

Al CREPIC y la CRC, por la oportunidad brindada y depositar su confianza en nosotros.

Al Biólogo Jaime Mauna director de la piscícola de Pambío  
Por su total colaboración y apoyo durante la realización del proyecto

A Elizabeth Ruano, Sandra Rebolledo y María Eugenia Ledezma funcionarias del CREPIC, por su total colaboración y apoyo durante la realización del proyecto

Al gerente de la piscifactoría El Diviso Carlos Puentes, por la gestión y colaboración en la ejecución del proyecto.

Al Veterinario Eduardo Ruales de la piscifactoría El Diviso, por su colaboración

Al proyecto “Desarrollo y Adaptación de Tecnología para el Tratamiento de Efluentes Piscícolas”, financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por su apoyo logístico y financiero.

A todos los profesores del programa  
Por las enseñanzas y lecciones de vida.

A nuestros compañeros y a todas las personas que de una u otra manera hicieron posible el desarrollo de este proyecto.

## CONTENIDO

Pág.	
	1. INTRODUCCION .....1
	2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....3
	3. JUSTIFICACIÓN.....5
	4. REVISION BIBLIOGRAFICA.....7
	4.1 MARCO HISTORICO .....7
	4.2 TIPOS DE PISCICULTURA .....9
	4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN .....9
	4.3.1 Producción de Alevinos .....10
	4.3.2 Reversión Sexual.....11
	4.3.3 Levante y engorde .....12
	4.3.4 Fertilizantes y Abonos .....15
	4.3.5 Cosecha .....15
	4.3.6 Procesamiento o transformación de peces .....17
	4.3.7 Comercialización.....18
	4.4 REUSO DE AGUAS RESIDUALES PARA PISCICULTURA.....19
	5. OBJETIVOS .....20
	5.1 OBJETIVO GENERAL.....20
	5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....20
	6. METODOLOGIA .....21
	6.1 MARCO CONTEXTUAL .....21

6.2 OBJETIVO 1. ....	22
6.3 OBJETIVO 2. ....	23
7. ANÁLISIS Y DICUSIÓN DE RESULTADOS .....	24
7.1 ESTACIÓN PISCICOLA DE PAMBÍO.....	24
7.1.1 Efluente de operación normal .....	25
7.1.1.1 Caudal.....	25
7.1.1.2 Temperatura .....	26
7.1.1.3 Oxigeno Disuelto .....	27
7.1.1.4 Materia Orgánica .....	28
7.1.1.5 Sólidos.....	30
7.1.1.6 Macronutrientes .....	32
7.1.1.7 Coliformes .....	33
7.1.2 efluente de cosecha.....	34
7.1.2.1 Caudal.....	35
7.1.2.2 Materia orgánica .....	35
7.1.2.3 Sólidos.....	37
7.1.2.4 Macronutrientes .....	39
7.1.2.5 Coliformes .....	41
7.2. PISCIFACTORIA EL DIVISO .....	42
7.2.1. Efluente de Operación Normal.....	43
7.2.1.1. Caudal.....	43
7.2.1.2. Temperatura y pH.....	44
7.2.1.3. Oxígeno Disuelto .....	45

7.2.1.4. Materia Orgánica .....	46
7.2.1.5. Sólidos.....	47
7.2.1.6. Nutrientes.....	49
7.2.1.7. Microorganismos .....	50
7.2.2. Mantenimiento en El Diviso .....	51
8. CONCLUSIONES .....	59
9. RECOMENDACIONES.....	60
BIBLIOGRAFIA .....	61
ANEXO A. Datos medidos en operación normal en la estación piscícola de Pambío	
ANEXO B. Tabla de los parámetros medidos en época de cosecha en la estación piscícola de Pambío	
ANEXO C. Tabla de los parámetros medidos durante el período de operación normal en la Piscifactoría El Diviso	
ANEXO D. Tabla de parámetros fisicoquímicos en la evaluación de desempeño del sedimentador en la Piscifactoría El Diviso	
ANEXO E. Imágenes de los estanques utilizados en el cultivo de peces	
ANEXO F. Referencias de los procedimientos de laboratorio y muestreo.	



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Porcentaje de composición en alimento para Trucha.....	14
Tabla 2.	Fórmula de Dieta para la Tilapia.....	14
Tabla 3.	Parámetros de medición para caracterización del efluente durante el proceso de levante y engorde, cosecha y mantenimiento.....	22
Tabla 4.	Parámetros de medición para la evaluación del sistema de remoción de sólidos de la Piscifactoría El Diviso.....	23
Tabla 5.	Resumen de parámetros en la estación piscícola de Pambío ....	24
Tabla 6.	Datos de los parámetros evaluados en cosecha. ....	34
Tabla 7.	Porcentajes de Remoción y Velocidades Críticas de Sedimentación en Pambío.....	39
Tabla 8.	Resumen de los parámetros fisicoquímicos en operación normal de la Piscifactoría El Diviso.....	42
Tabla 9.	Concentración de Fosfatos, Nitratos y Oxígeno Disuelto en cultivo de Tilapia Nilótica ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) en el Reino Unido. ....	49
Tabla 10.	Parámetros fisicoquímicos en el mantenimiento en la Piscifactoría El Diviso.....	51
Tabla 11.	Porcentajes de Remoción y Velocidades Críticas de Sedimentación en El Diviso .....	53

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Tilapia Nilótica ( <i>Oreochromis niloticuss</i> ) .....	13
Figura 2.	Trucha Arco Iris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) .....	13
Figura 3.	Fondo de estanque para cría de Tilapia Nilótica ( <i>Oreochromis niloticus</i> ).....	16
Figura 4.	Cosecha de Tilapia Nilótica ( <i>Oreochromis niloticuss</i> ) .....	16
Figura 5.	Canales de cultivo de trucha (Raceways).....	17
Figura 6.	Estructura de la Cadena Productiva de la Piscicultura.....	18
Figura 7.	Mapa del Departamento del Cauca. Ubicaciones piscícolas .....	21
Figura 8.	Comportamiento del caudal en la estación piscícola de Pambío en operación normal.....	25
Figura 9.	Valores máximos y mínimos de la temperatura en la estación piscícola de Pambío.....	26
Figura 10.	Comportamiento del O.D. en la estación piscícola de Pambío. .	27
Figura 11.	Valores máximos y mínimos de la DBO en la estación piscícola de Pambío en operación normal.....	29
Figura 12.	Comparación de la norma RAS 2000 con los datos de DBO5 en operación normal.....	30
Figura 13.	Valores de la turbiedad en la estación piscícola de Pambío en operación normal.....	31
Figura 14.	Comparación de la norma RAS 2000 con los datos de turbiedad en operación normal. ....	31
Figura 15.	Variabilidad de los SS en la estación piscícola de Pambío en operación normal.....	32
Figura 16.	Comportamiento de los de los coliformes fecales en operación normal.....	34

Figura 17.	Comportamiento del caudal en época de cosecha.....	35
Figura 18.	Comparación de los datos de DBO5 en época de operación normal y cosecha en la estación piscícola de Pambío. ....	36
Figura 19.	Comparación de los SS Vs Turbiedad durante el proceso de cosecha. ....	37
Figura 20.	Curva de sedimentabilidad en la cosecha de Pambío.....	39
Figura 21.	Comportamiento de macronutrientes en el proceso de cosecha. ....	40
Figura 22.	Comparación de los valores promedio de coliformes fecales entre los procesos de cosecha y operación normal. ....	41
Figura 23.	Variación de la temperatura a la entrada y salida de la planta 2. ....	44
Figura 24.	Comportamiento del Oxígeno Disuelto en el afluente y efluente de la planta 2 de El Diviso.....	45
Figura 25.	Comparación de la DBO con la norma Ras 2000.....	47
Figura 26.	Comportamiento de la turbiedad en Efluente de la Planta 2 en El Diviso .....	48
Figura 27.	Variación de Coliformes Fecales en Planta 2. ....	50
Figura 28.	Comportamiento de algunos parámetros en el barrido de raceways.....	52
Figura 29.	Curva de sedimentabilidad proceso de Barrido El Diviso.....	53
Figura 30.	Comportamiento de nitratos y fosfatos del Mantenimiento en El Diviso .....	54
Figura 31.	Sedimentador Evaluado en Planta 2. ....	56
Figura 32.	Comportamiento de los Sólidos Suspendidos a la entrada y salida del sedimentador .....	56
Figura 33.	Correlación de la turbiedad y los SS a la entrada del sedimentador .....	57
Figura 34.	Correlación de la turbiedad y los Sólidos Suspendidos a la salida del sedimentador.....	57

## RESUMEN

La piscicultura es una de las actividades que va en crecimiento a nivel mundial, nacional y regional, sin embargo no cuenta con una planificación coherente con la necesidad de conservar el recurso hídrico. Es por esto que surge la necesidad de medir por cantidad y calidad los afluentes y efluentes que intervienen en estos procesos. Con el presente trabajo se pretende diagnosticar el tipo de efluente, además de su impacto sobre la calidad influente, mediante los siguientes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: DBO, DQO, sólidos suspendidos, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, pH, temperatura, turbiedad, caudal y coliformes fecales en dos estaciones piscícolas, una productora de Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) y otra productora de Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*), en la estación piscícola de Pambío y en la piscifactoría El Diviso respectivamente.

En la producción de Tilapia Nilótica se identificaron dos momentos en el proceso. Al primero se le denominó Operación Normal y presentó promedios de DBO de 0.8 mg/L, DQO de 4.76 mg/L y SS de 2.7 mg/L. El otro momento del proceso se le denominó Cosecha, la cual sucedió con una frecuencia de 3 meses por estanque y presentó valores promedio de 99.6 mg/L de DBO, 151.88 mg/L de DQO y 1780 mg/L de SS. Paralelamente, en la producción de Trucha Arco Iris se presentó un caso similar, donde se separaron la Operación Normal, la cual tuvo concentraciones promedio de 4.68 mg/L de DBO, 13.19 mg/L de DQO y 4.18 mg/L de SS con un caudal de 418 L/s. El otro proceso se denominó como Mantenimiento, cuya frecuencia se da 1 vez por semana y tuvo como resultado un promedio de 323 mg/L en DBO, 450.39 mg/L en DQO y 763.3 en SS.

Los valores presentados en la operación normal en la producción de Tilapia Nilótica representan un grado bajo de contaminación en el efluente final, mientras que en la cosecha, estos valores establecen a este proceso como punto crítico de producción de esta especie. Por otro lado, en la producción de Trucha Arco Iris, debido al gran flujo de agua que se maneja en el proceso de operación normal, estas concentraciones se encuentran diluidas por lo cual probablemente no afectaría cuantiosamente el cuerpo de agua receptor, contrariamente al mantenimiento donde los valores exceden valores usuales de agua residual y generan contaminación en el efluente final.

Palabras clave: Trucha Arco Iris, Tilapia Nilótica, DBO, DQO, Efluente, SS

## 1. INTRODUCCION

La humanidad se encuentra estrechamente ligada al agua; desde el simple origen de la vida hasta el sostenimiento de la misma mediante miles de necesidades y usos que se le ha dado a tan invaluable recurso. Mas sin embargo, el suministro de este recurso es finito mientras que la demanda de agua dulce y bienes y servicios ecológicos acuáticos aumentan cada día con el crecimiento de la población mundial (Braga, 2000).

Entre los usos predomina la explotación de los ríos para fines tales como la agricultura, la industria, el transporte, el vertido de desechos y la ubicación de los asentamientos humanos. Contrario a los beneficios brindados, el desarrollo y las prácticas operacionales concernientes al agua epicontinental se dirigen únicamente a optimizar sus propósitos utilitarios, dando como resultado con el paso del tiempo un deterioro de este recurso causando impactos a niveles ecológicos, económicos y sociales. Con base a lo mencionado, se hace necesario optimizar este desarrollo y sus prácticas operacionales para fines de conservación y mejoramiento, los cuales permitan llegar a niveles de mayor eficiencia y productividad sin causar impactos a las generaciones futuras. Es por esto que según Naiman (Citado por Braga, 2000) los efectos de largo plazo de los proyectos hídricos sobre la cantidad y trayecto del agua y de los materiales transportados por ella a lo largo de su curso hacia el océano, así como el mantenimiento del hábitat suficiente para conservar las especies con su variabilidad genética natural, son de particular importancia.

En nuestro país la problemática ambiental ha pasado a ser parte importante de la agenda; partiendo de la Carta Constitutiva de 1991, se crearon las bases necesarias para la creación de la estructura orgánica estatal actual (la creación del Sistema Nacional Ambiental SINA , Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVT, las Corporaciones Autónomas Regionales CAR´s entre otros) la cual ha permitido poco a poco tomar conciencia en la visión de conservación y mejoramiento permitiendo una proyección de los planes de manejo del agua con un enfoque integrado en la prevención de la contaminación y no sólo referirse al control de la contaminación.

Dentro de este marco, es de resaltar el hecho de que el sector piscícola en el país, y particularmente en el Cauca, no cuenta con un manejo ambiental del recurso agua, por lo cual surge la necesidad de involucrar este sector productivo dentro de una esfera académica y de investigación, que permita establecer los parámetros técnicos y científicos que logren una eficiencia y eficacia en el manejo y explotación del recurso logrando una mejor protección hacia el ambiente, anexando esta actividad económica a esa visión integral de planeación que toma fuerza en el País.

Este trabajo de grado hace parte de la primera etapa del proyecto “Desarrollo y Adaptación de Tecnología para el Tratamiento de Efluentes Piscícolas” actualmente en desarrollo por la Universidad del Cauca y el Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca (CREPIC) al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Esta primera etapa tiene por objetivo la caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos; DBO, DQO, Sólidos Suspendidos, Fosfatos, Nitratos, pH , Turbiedad, Temperatura y Coliformes fecales; de los efluentes de dos piscícolas: una productora de Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*)\*, en la Estación Piscícola de Pambío y la otra de Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) en la Piscifactoría El Diviso.

Los autores de este documento esperan que la realización de este estudio sea de utilidad en la planificación del recurso hídrico y como fuente de consulta para estudios posteriores familiarizados en el tema.

---

\* En la estación Piscícola de Pambío se cultivan otras especies como Tilapia Roja (*Oreochromis spp*), Carpa Espejo (*Cyprinus carpio var specularis*), Carpa Roja (*Cyprinus spp*) y Cachama (*Piaractus brachypomus*), la principal especie por número de individuos y volumen de producción final para la venta y pesca deportiva es la Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) casi en la totalidad de la producción.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia posee uno de los mayores potenciales hídricos en el mundo;  $33.630\text{m}^3$  al año por persona, casi cinco veces mayor la disponibilidad promedio del mundo que apenas alcanza los  $7.700\text{m}^3$  (IDEAM, 2001), el cual se ha ido deteriorando con el uso indiscriminado del recurso reflejándose en una restricción gradual para los usos de recreación, piscicultura, irrigación y consumo (IDEAM, 2001). En este sentido, el aporte de carga orgánica es de aproximadamente de 8500 ton DBO/día, además de un total de sólidos suspendidos de 353.7 ton/día (Conpes, 2002), debido al mal manejo y a la inexistencia de una planificación coherente a la necesidad de conservar este potencial hídrico.

Una de las diversas actividades económicas que no cuentan con las necesidades anteriormente mencionadas son las piscícolas, las cuales tienen una alta presencia en nuestro país gracias a la abundancia de recursos hídricos, terrenos y climas apropiados para esta actividad (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005). En términos de producción, esta actividad reportó para el año 2003 un total de 28.530 toneladas de pescado y para el año 2004 se proyectó por encima de 30.000 toneladas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005), en donde la demanda de agua en miles de  $\text{m}^3$  por año para la actividad pecuaria es de 509.336, lo que corresponde al 8,8% de la demanda nacional; 5.785.765 miles de  $\text{m}^3$  por año (Ojeda, *et. al.* 2000)

Durante el proceso de producción piscícola, se considera inevitable la acumulación de residuos orgánicos y metabólicos en los estanques y criaderos de peces. El volumen de excreta producido por los peces es la mayor fuente de residuos orgánicos. Según Kubitzka (1999) (Citado por Hussar *et al.*, 2005), la digestibilidad del material seco, usado como alimento, es del orden del 70 al 75%, lo cual significa que entre el 25 y el 30 % se convierte en residuo fecal. Este material orgánico, no solo genera contaminación de tipo microbiológica, también consume el oxígeno disuelto del agua, que compite con el oxígeno requerido por los peces. El drenaje de los estanques durante el proceso de cosecha, genera concentraciones de materia orgánica que alcanza los 28 mg/L de DBO, (Body, 1974. Citado por Hussar *et al.*, 2005.).

De otra parte la cantidad de sólidos producidos que se reincorporan en la época de cosecha a los cuerpos de agua por resuspensión de los lodos no ha sido bien identificada, pero estos pueden causar limitaciones de la fuente en su uso para consumo humano, especialmente como fuente de bebida y cocina. Por otro lado, la constante adición de alimento concentrado a estos estanques de cultivo generan un margen residual de macronutrientes (Velasco, *et al.* 2000) que,

siguiendo la dinámica natural del agua y los ciclos biogeoquímicos, pueden generar un proceso de eutrofización de las aguas, llevándolas a condiciones anóxicas, siendo esto una catástrofe ambiental en términos ecosistémicos y a la imposibilidad de un uso del agua para consumo humano (potabilización) aguas abajo.

Otro problema no tan notorio por los aspectos estéticos en un cuerpo de agua y que es de origen antrópico, es el potencial efecto de las hormonas utilizadas en la reversión sexual de los peces en la producción de alevinos, por ejemplo en el caso de la tilapia (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005). Estos residuos son descargados en los efluentes de las estaciones piscícolas a las cuencas hídricas, las cuales aguas abajo tienen múltiples usos, y dado el caso entre ellos el de agua potable, estos residuos del tratamiento hormonal son introducidos en el organismo de la población usuaria de dicha fuente hídrica, lo cual podría significar posibles implicaciones en la salud o condiciones de bienestar.

Esta problemática se debe abordar con los criterios adecuados de planificación y planeación a manera de dar soluciones reales a corto y largo plazo, para esta creciente actividad, presente casi en la totalidad del territorio nacional, la cual se estima que contribuye con 90.700 fuentes de trabajo (INPA, 2000), donde se consolida como una actividad familiar para los estratos de bajos recursos, ya sea para necesidades de autoconsumo o comercio, además, en el departamento del Cauca, según Sotelo (2006), el número de estaciones piscícolas es de aproximadamente 26, lo que representa un uso altamente representativo del recurso hídrico y a su vez, la pérdida de calidad del mismo debido a la ausencia de sistemas de tratamiento de sus efluentes.



### 3. JUSTIFICACIÓN

En un cuerpo de agua la existencia de sólidos y macronutrientes se hallan en concentraciones que responden a la dinámica del mismo. Cuando este equilibrio se altera ya sea por razones antrópicas o naturales el cuerpo de agua (medio lotico o lentic) presenta un inusual comportamiento en las dinámicas fisicoquímicas y biológicas.

En el caso de los sólidos en suspensión, cuando se presentan en alta cantidad, se disminuye la penetración lumínica provocando una restricción en la productividad biológica a una delgada capa superficial (Smith, 2001), causando a su vez una distribución anormal de los organismos productores afectando de esta manera los procesos bioenergéticos (Fotosíntesis y respiración) que se traduce finalmente, en un desplazamiento o desaparición de las especies integrantes de las cadenas tróficas del cuerpo de agua. Además una desmedida emisión de sólidos significaría una potencial modificación en el régimen hidráulico por la formación de taponamientos y colmataciones las cuales se traducirían en el desecamiento gradual de los cauces naturales, ocasionando una alteración del paisaje y la regulación hídrica de la zona afectada, todo esto sin tener en cuenta los efectos negativos que esto tendría a nivel ecosistémico.

Cuando se aumentan los macronutrientes las consecuencias son similares, ya que se provoca la desaparición de las especies integrantes de las cadenas tróficas; al presentarse en un cuerpo de agua un enriquecimiento de fósforo y nitrógeno se produce una proliferación vegetal excesiva lo cual hace que el sistema colapse y no queden nutrientes disponibles como fuente de alimento para la vegetación presente (principalmente fósforo), es en este momento cuando el nitrógeno pasa a ser el factor limitante provocando la aparición de algas cianofíceas en la superficie impidiendo el paso de la luz y el intercambio de oxígeno con la atmósfera. Los productores primarios dadas estas condiciones mueren, apareciendo las bacterias que degradan la materia orgánica presente consumiendo, en ese proceso, el oxígeno del cuerpo de agua, disminuyéndolo hasta niveles críticos lo cual, conlleva a la muerte de peces por asfixia y otras especies. A partir de este punto de la Eutrofización el medio llega a condiciones anaeróbicas y procesos fermentativos de mal olor, dejando el cuerpo de agua sin la biota acuática.

Teniendo en cuenta los problemas que se presentan por un incremento en las concentraciones de estos tres parámetros en los cuerpos de agua, las plantas o granjas piscícolas son actores importantes por la ausencia de un tratamiento en sus aguas residuales ya que estas, en época de cosecha, presentan una

alarmante reincorporación de sólidos al agua y altos contenidos de materia orgánica (Fósforo y Nitrógeno) por el concentrado utilizado como alimento en el “levante y engorde” de los peces (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005) y las heces, además emitir residuos del tratamiento hormonal en la reversión sexual de los alevinos.

Las dos especies ícticas tenidas en cuenta en este estudio, Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) y Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*), se debe a la intención de generar un estudio que sirva como referencia a nivel nacional sobre esta actividad económica, a pesar de las particularidades de cada una de las regiones nacionales, estas dos especies de peces de cultivo además de la Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) y negra (*Colossoma macropomum*) son las especies más cultivadas en todo el territorio nacional constituyendo en los últimos doce años el 96,3% del total de la piscicultura (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005), con una producción de tilapia del 49% de la actividad piscícola, mientras la cachama y la trucha han constituido el 31% y 16%, de manera respectiva (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005).

Ya que estas dos especies de peces de cultivo representan más del 60% de la producción nacional es motivo suficiente para justificar la selección de estas especies en el estudio para lograr el fin anteriormente mencionado.

De todo lo anterior se deduce entonces, que parte de la solución a esta problemática se debe centrar en el estudio de alternativas para el tratamiento de las aguas residuales generadas en estaciones piscícolas, que permitan la reutilización de las aguas en el proceso productivo, y tener una calidad de vertimiento tal, que afecte lo menos posible los cuerpos de aguas epicontinentales y/o marítimos según los criterios y la normatividad existente, al igual que una opción viable para reducir costos de producción al recuperar materia prima invertida en el proceso, todo lo anterior como parte de la creación de una visión regional en el ordenamiento y la planificación de las principales corrientes hídricas, porque no se avanzará si las tecnologías de cultivo y producción de las mismas no se adaptan a las características ambientales propias de nuestro país, a la idiosincrasia de los potenciales productores y al mercado interno y externo adónde dirigir los productos obtenidos.

## 4. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 4.1 MARCO HISTORICO\*

La actividad pesquera y acuícola colombiana comprende el aprovechamiento de los recursos pesqueros de sus dos litorales marítimos, de numerosas cuencas lacustres y fluviales, así como de una creciente participación de la acuicultura. A escala industrial se desarrolla la pesca marítima y la acuicultura marítima y continental; la actividad artesanal comprende además de las dos anteriores, la pesca continental.

La historia de la pesca y la acuicultura a escala comercial inició entre los años cincuenta y sesenta; en la década del 50 comenzó a desarrollarse la pesca industrial en el Pacífico y desde 1968 en el Caribe; el subsector creció el 400% entre 1953 y 1968 con un incremento anual del 9% en la producción. La acuicultura inició como una actividad de fomento dirigida a pequeños productores del interior del país (Valle del Cauca y zona cafetera de la región andina) con especies como la carpa común, carpa espejo y las mojarra o tilapias (*mosambica* y *rendall*).

En la década del 70 la aún naciente industria recibió un gran impacto cuando el Gobierno Nacional autorizó la importación de productos pesqueros de los países del Pacto Andino. La sobrevaloración de la tasa de cambio y el fuerte aumento del precio del combustible también influyeron gravemente; la situación se soportó a través de la diversificación de la producción con la fauna acompañante del camarón y la compra de las capturas de los pescadores artesanales.

Respecto a la acuicultura, en esta década se desarrollaron algunas investigaciones de especies de aguas continentales susceptibles de cultivo, se emprendieron acciones de fomento y transferencia de tecnología, capacitación de profesionales por parte de expertos internacionales y se construyeron las estaciones piscícolas de Repelón (Atlántico) y Gigante (Huila), que actualmente pertenecen al Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura – INPA.

A finales de la década de los ochenta se impulsó la pesca de atún como una actividad promisoriosa con altas ventajas comparativas, motivo por el cual los industriales la consideraron como la mejor alternativa para continuar en el negocio.

---

\* Adaptado de *Perfil de la pesca y la acuicultura en Colombia*. BELTRAN TURRIAGO, Claudia Stella. VILLANEDA JIMENEZ, Abraham Alberto. Instituto Nacional de Pesca y acuicultura INPA. Bogotá, Junio de 2000.

Las capturas de atún se realizan básicamente en el Pacífico pero las grandes plantas de proceso se ubican en Cartagena y Barranquilla, lo que implica que los barcos deben desplazarse a través del Canal de Panamá para descargar en las plantas atuneras con las cuales tienen contratos.

La piscicultura comercial inició a finales de los años ochenta con el cultivo de tilapia nilótica en el Huila, tilapia roja en el Valle del Cauca y rápidamente se extendió a otras regiones del país. Con relación a la pesca continental, las capturas comenzaron a disminuir notoriamente debido a la sobrepesca, el uso de artes indebidos de captura, la contaminación por agroquímicos y la deforestación, particularmente en la Cuenca Magdalénica.

Los noventa comenzaron con la expedición de la Ley 13 en enero de 1990 – Estatuto General de Pesca, que brindó un nuevo marco legal e institucional a la actividad; esta década estuvo marcada por profundos cambios en la economía colombiana, particularmente por la apertura del mercado externo, la constante reevaluación del dólar americano y por los consecuentes ajustes en la industria nacional.

Desde el punto de vista productivo, se ha fortalecido la industria atunera, el cultivo de camarón (pese a las enfermedades que ha enfrentado), de tilapia roja, trucha y cachama. Las medidas de ordenamiento han contribuido a mejorar los rendimientos de la pesquería del camarón y especies continentales como el bagre, así como evitar un mayor deterioro de la Cuenca Magdalénica. También se fortalecieron diversas investigaciones para diversificar la acuicultura marina y continental.

Por su parte, las importaciones se han constituido en un importante componente para incrementar el consumo nacional de productos pesqueros y acuícolas, así como para garantizar la producción de alimentos concentrados para la acuicultura, pues la harina de pescado representa más del 30% de las importaciones colombianas de productos pesqueros.

En 1998 la producción del subsector pesquero y acuícola presentó un descenso del 8,62% respecto a 1997, lo cual se explica por la disminución de las capturas debido a la ocurrencia del Fenómeno del Niño que afectó las capturas de atún en el océano Pacífico, la continua disminución de la pesca continental por problemas de contaminación en las cuencas, desecación de ciénagas y reducción de la biomasa de las especies de mayor interés comercial, así como las limitaciones presupuestales y de personal en el INPA que le han impedido un cubrimiento nacional en la toma de datos estadísticos.

Al contrario de lo ocurrido en la pesca, la acuicultura continuó creciendo, principalmente gracias al aporte del cultivo de camarón marino, tilapia, trucha y

cachama. Este incremento se ha dado no sólo en las fincas actualmente en funcionamiento sino también por el ingreso de nuevos productores a la actividad.

## **4.2 TIPOS DE PISCICULTURA**

Al hablar de piscicultura de agua dulce se puede clasificar dependiendo del uso de los recursos y al manejo que se da a la actividad (Mauna, 2006), dando como resultado dos tipos de piscicultura; Extensiva o Intensiva.

La piscicultura extensiva es aquella que se realiza en cuerpos de aguas naturales no aptos para esta actividad tales como madre viejas, ciénagas, antiguos cauces de río, lagos, lagunas, etc. Esta modalidad de cultivo se caracteriza por una baja y causal productividad, en donde no existe un control de los peces cultivados y al ocuparse cuerpos de aguas ya existentes o cuerpos de aguas que colindan con otros, el uso de especies no nativas se convierte en un problema ambiental ya que al presentarse fugas de estas especies en el entorno natural se presenta sustitución, desplazamiento o desaparición de las especies nativas.

El tipo de piscicultura intensiva se caracteriza por ser una actividad realizada en estanques construidos para dicho propósito (especialmente diseñados para el cultivo de peces), esto permite un mayor control de la actividad piscícola ya que permite el manejo de la dieta de los peces y una mayor producción de individuos por área de espejo de agua, permitiendo un seguimiento continuo y mejorar las falencias de los aspectos técnicos detectados en el seguimiento, además al ser estanques técnicamente controlados el impacto causado por la fuga de individuos a los cuerpos de aguas naturales se minimizan.

## **4.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN**

El arte de cultivar organismos acuáticos (vegetales y animales) es llevado a cabo por el hombre, con aplicación de métodos y técnicas que él controla totalmente y que lo hacen propietario de sus producciones. Este proceso productivo, puede involucrar desde la selección de los organismos reproductores para la obtención de “semilla” (de origen silvestre o de producción) , pasando a través de un crecimiento controlado durante todas las fases del cultivo (recrea o pre-engorde, engorde final) para arribar al peso de comercialización requerido por los consumidores en un mercado, que puede tratarse bien, del interno o externo (según demanda) o también puede abarcar solamente las fases de pre-engorde y engorde final, iniciando las producciones a partir de la semilla adquirida a otros

productores especializados. (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2001).

#### **4.3.1 Producción de Alevinos**

La producción de alevinos se divide en las fases de reproducción, incubación, larvicultura, y pre-cría. En términos generales, el proceso es el siguiente: mediante la reproducción en cautiverio, entre machos y hembras previamente seleccionados, se obtienen las Ovas (Huevos fertilizados) que son posteriormente depositados en incubadoras, donde se convierten en larvas. Dependiendo de la especie se efectúa un proceso de determinación del sexo. En el caso particular de la tilapia, se inicia un ciclo de 30 días, en el cual las larvas permanecen exclusivamente sometidas al suministro de alimento con hormonas para efectos de reversión sexual. Se espera que al finalizar esa etapa se obtengan alevinos de 1g, y que al menos el 95% de la población sean machos. Finalmente, los alevinos son trasladados a estanques de mayor tamaño, donde son mantenidos hasta que alcancen un peso cercano a los 30g, que normalmente se logra en 90 días (pre-cría). (Cadena Piscícola de Colombia, 2001)

Con la trucha, el período de incubación de las ovas, depende estrechamente de las temperaturas ambientales, pero en promedio se acerca a las tres semanas después de producida su fertilización y hasta la eclosión (con alrededor de 12-13 °C constantes); o bien, dentro de los 4 - 7 días luego de haber recibido un stock, en "estadio de ojos" (si provienen del exterior o de fuera del establecimiento). En general, especialmente en el sector de cultivos de aguas frías, se maneja la información de cantidad de grados de temperatura acumulados por las ovas, concepto conocido como de Unidad Térmica Acumulada (UTA) durante el período de su embriogénesis (comúnmente denominado "incubación de ovas") hasta el máximo de UTA correspondientes a la especie, para que se produzca la eclosión de las mismas y el nacimiento de las larvas. (Secretaria de Agricultura, Ganadería Pesca y Alimentación, 2001).

Los pequeños y medianos piscicultores obtienen los alevinos en el mercado, mientras que algunos de los grandes productores los cultivan en sus propias instalaciones. Para el caso de la trucha, las ovas son importadas debido a su rápido crecimiento y ser totalmente hembras, por cuanto en el país no se han desarrollado técnicas para la producción de una semilla de buena calidad.

### 4.3.2 Reversión Sexual

Debido a las diferencias de crecimiento entre el macho y la hembra, es necesario que los cultivos de tilapia sean monosexo (mayor porcentaje posible de machos). En la producción de tilapia es posible realizar el cultivo monosexo. El cultivo de solo machos se recomienda debido a la mayor tasa de crecimiento, mayor eficiencia en la tasa de conversión de alimento además, es posible alcanzar tamaños de hasta un kilogramo de peso vivo en un año de producción y mayor rendimiento de filete. (Nicovita, 2003).

Una vez colectados los alevinos son transportados a los estanques de reversión sexual que se encuentran situados en la zona especial llamada Hatchery. El tratamiento de reversión sexual consiste en la adición de 60 ppm de hormonas (17  $\alpha$  - metiltestosterona) mezclado con el alimento concentrado lo que permite que al cabo de 28 a 30 días el porcentaje alto de hembras (en condiciones naturales) se transforman en machos ofreciendo la ventaja de un mayor crecimiento y rendimiento de este sexo durante el cultivo, además, se evita la reproducción sin control en los estanques de engorde pues esto ocasionaría la competencia por alimento, espacio, oxígeno disuelto, descomposición acelerada del agua y del suelo, condiciones que son perjudiciales para el cultivo inicial. Esta hormona es incluida a través de un vehículo (alcohol) en el alimento, cuyo nivel de proteína es generalmente alto (45%) y suministrada a razón de un 15% de la biomasa/día repartido en 8 raciones como mínimo.

La reversión sexual garantiza entre el 90 y 95% de machos, dependiendo de la buena utilización de la hormona y los cuidados de los alevinos y su medio durante este periodo.

Otros tipos de reversión sexual se pueden lograr de varias formas:

- Realizando el sexado manual de los peces al alcanzar tamaños de 30 a 50 gramos de peso.
- Realizando producción e híbridos que provienen y son garantizados de reproductores genéticamente manipulados.

### 4.3.3 Levante y engorde

Esta fase consiste en llevar los alevinos hasta un peso aproximado de 180 grs.; a partir de ese momento, el pez pasa a la etapa de engorde, donde es cultivado hasta llevarlo a un peso por encima de los 300g. La duración de estas dos actividades, por lo general, es de 6 meses, no obstante, para el cultivo de trucha se puede extender hasta 10 meses.

En el caso de la tilapia (ver figura 1), la mayor tasa de crecimiento la presentan los machos de 6 a 8 meses, el crecimiento promedio de estos es de 18 a 25 cm, con un peso de 150 a 250g. Por otra parte, cuando la temperatura esta fuera de sus valores mínimos y máximos, junto con el pH actúan como inhibidor del crecimiento.

La capacidad de carga de cada unidad de cultivo, en el caso de las truchas (ver figura 2), será totalmente dependiente del peso de los peces colocados bajo cultivo, de la calidad del agua utilizada, del contenido de OD, de la temperatura y del flujo del agua; así como de su volumen y la infraestructura utilizada; teniendo en cuenta lo último, en el caso de El Diviso, éste cuenta con estanques en paralelo construidos en cemento, el cual garantiza que flujo de agua sea suficientemente bajo y continuo, de tal forma que los peces realicen poco gasto de energía, favoreciendo así, una eficiente conversión de alimento a carne.

En Colombia no existe diferenciación entre las actividades de levante y engorde, las cuales son desarrolladas de manera secuencial por el piscicultor tanto en sistemas de estanques como en jaulas flotantes. Corrientemente se asocia la cadena de la piscicultura con estas dos actividades, por cuanto en ellas se realizan las mayores inyecciones de capital, mano de obra y se despliegan prácticas en el control del animal, bien sean para su mercadeo nacional o de exportación.

Para que los peces crezcan a su tasa potencial, requieren alimento que les sirva tanto de sustento como de dieta para su crecimiento. (Hepher B. Pruginin Y, 1991). En este sentido, los peces necesitan porcentajes de nutrientes los cuales varían dependiendo de la especie. Generalmente las dietas de los peces son muy ricas en proteínas (40-60%), lo cual conlleva una fuerte excreción de nitrógeno ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ), cuya velocidad de excreción está relacionada directamente con la cantidad y calidad de la proteína suministrada en el alimento. (Sanz, 2003).



Figura 1. Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticuss*)



Fuente: U.S. Geological Survey usada por Alamilla H, 2002

Figura 2. Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*)



Fuente: [pegasus.ucla.edu/ve/cdbiodiversidad/GaleriaPeces\\_archivos/Trucha.jpg](http://pegasus.ucla.edu/ve/cdbiodiversidad/GaleriaPeces_archivos/Trucha.jpg)

Para la trucha, que es un animal carnívoro, su dieta básica consiste en proteínas, grasas, carbohidratos, sales minerales y vitaminas; los compuestos cálcicos son tomados directamente del agua o de los alimentos. A continuación, en la tabla 1 se relacionan los porcentajes de la composición alimenticia para la trucha.

Tabla 1. Porcentaje de composición en alimento para Trucha.

<b>COMPONENTE</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
PROTEINA	40 -50
GRASAS	7
CENIZAS	10
HUMEDAD	12
FIBRAS	3
VITAMINAS	1 - 4
MINERALES	1 - 4

Fuente: Adaptado de Chiodo Luis, 1998.

Por otro lado, la dieta para la producción de tilapia tiene ciertas variaciones. En la tabla 2 se muestran los ingredientes que debe tener el alimento adecuado para el crecimiento y engorde de la Tilapia.

Tabla 2. Fórmula de Dieta para la Tilapia

<b>INGREDIENTES</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Harina de Pescado	30
Harina de Pluma Hidrolizada	15
Harina de Carne	5
Harina de Soya	5
Harina de Cacahuete	10
Harina de Algodón	5
Salvado de Arroz	10
Solubles de Destilación (secos)	10
Premezcla Vitaminada	2
Premezcla Mineral	4
Suplemento de Lípidos	2
<b>CONTENIDO FINAL</b>	
Proteínas	49.25
Lípidos	11.06

Fuente: Alamilla H, 2002

La tendencia actual es buscar medios para disminuir la pérdida de nitrógeno y aumentar su retención controlando la relación entre la Proteína digestible y el total de Energía digestible de la dieta. Así mismo, el elevado precio que las fuentes de proteína, principalmente las harinas de pescado, tienen en el mercado hace que las investigaciones encaminadas hacia la búsqueda del máximo aprovechamiento proteico sea uno de los principales objetivos de las empresas dedicadas a la elaboración de dietas para peces. (Sanz, 2003)

#### **4.3.4 Fertilizantes y Abonos**

Debido a los altos costos que implica la alimentación de peces en un proceso productivo comercial o artesanal, los productores optan por incrementar la producción de alimento natural en los estanques. Para que esto sea posible, sea hace necesario la introducción de fertilizantes químicos, abonos orgánicos o ambas cosas. (Hepher B. Pruginin Y, 1991).

Los fertilizantes químicos proporcionan los minerales necesarios para la producción de materia orgánica a través de fotosíntesis, provocando así un crecimiento de plancton, el cual sirve como alimento natural y diverso para los peces.

Algunos de los fertilizantes químicos más utilizados son:

- El superfosfato (fosfato de roca con ácido sulfúrico)
- El sulfato de amonio o amoníaco líquido
- Fertilizantes nitrogenados

Otra forma de suministro de nutrientes por materia orgánica es cuando un estanque es abonado. Se agrega abono orgánico para estimular la producción de grandes cantidades de nutrientes minerales al ser descompuestas por las bacterias.

Cualquier abono de animal de granja u otra fuente de materia orgánica como agua residual doméstica que satisfaga condiciones como partículas finas de fácil dispersión, es adecuado para su uso en estanques de estaciones piscícolas. Los abonos más utilizados en piscicultura son:

- Gallinaza seca
- Abono líquido de ganado
- Abono de ganado de corral

#### **4.3.5 Cosecha**

Se quiso destacar esta parte de la producción, ya que en él se centra el presente trabajo, y porque probablemente genera el mayor impacto negativo hacia el ambiente, particularmente, en el recurso hídrico. La cosecha es el proceso por el cual se obtienen los peces para su posterior procesamiento y/o transformación. Este paso varía según la especie que se produce en las diferentes estaciones piscícolas. En el caso de la tilapia, los estanques son cuadrados, con una

pendiente o declive mínimo entre 0.1 y 0.2% (Hepher B. Pruginin Y, 1991), laterales protegidos con grava y con fondo en fango (ver figura 3). Esto último hace que la cosecha se torne en un proceso engorroso, ya que el método de cosecha de esta especie implica el desagüe del estanque para que los peces se concentren en el fondo, y con una red de arrastre que se extiende a través del estanque, puedan ser capturados en un alto porcentaje, provocando así una resuspensión de lodos depositado en el fondo del mismo. En la figura 4 se puede ver como se hace el proceso de cosecha de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en la estación piscícola de Pambío en el municipio de Timbío - Cauca.

Figura 3. Fondo de estanque para cría de Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) utilizado en la piscícola de Pambío.



Figura 4. Cosecha de Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticuss*)



En el caso de la trucha, y específicamente en la piscifactoría El Diviso, varía significativamente, debido a que los peces son cultivados en canales de cemento

con flujo de agua constante, denominados raceways (ver figura 5), que ofrecen ventajas de mayor producción, observación, manejo y mantenimiento más accesible de la calidad de agua, por efectos de su alta renovación (SAGPyA, 2001).

Figura 5. Canales de cultivo de trucha (Raceways).



La cosecha de la trucha se hace colocando una malla en el canal que lo atraviesa desde la superficie hasta el fondo, la cual se va corriendo con el fin de aglutinar a los peces y capturarlos con una malla de mano para su posterior transporte y transformación.

Cabe destacar que el problema ambiental en el proceso de la trucha no se radica en el momento de la cosecha, sino en el barrido y lavado (mantenimiento) de los raceways.

#### **4.3.6 Procesamiento o transformación de peces**

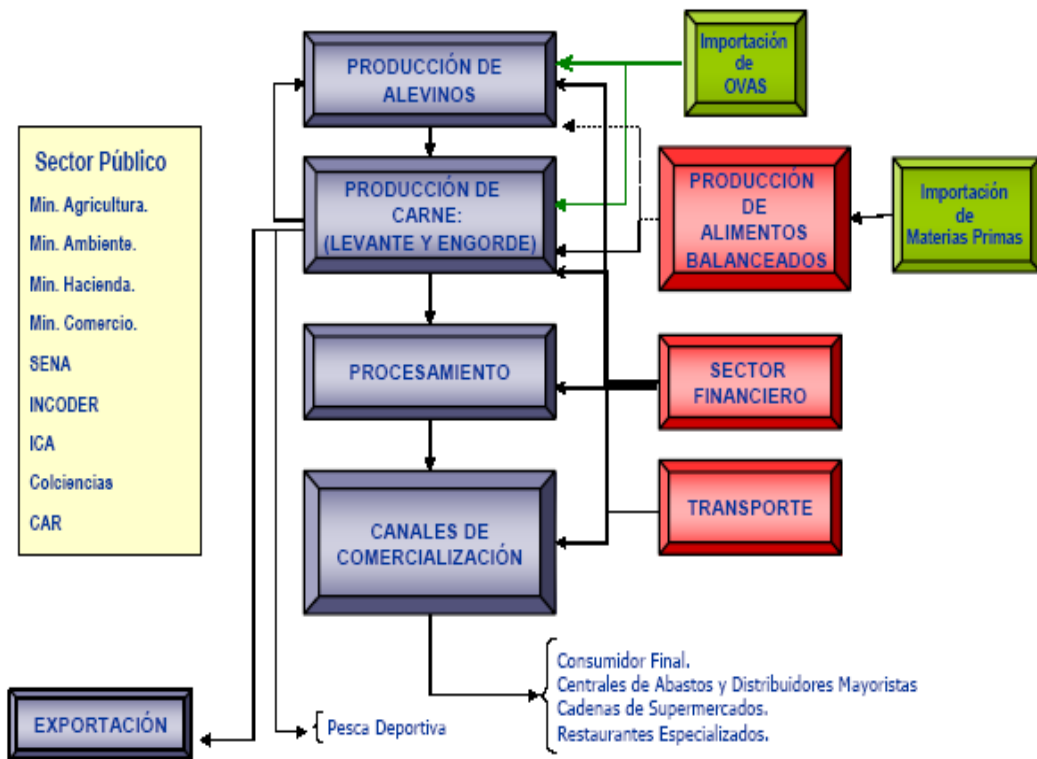
Una vez obtenidos los animales con los pesos deseados pasan a una etapa de procesamiento, donde se obtiene, principalmente, el producto entero y filetes, congelados. Una pequeña proporción se comercializa viva con fines de esparcimiento (pesca deportiva), o para reproducción. En la actualidad, el país cuenta con 88 plantas de proceso con una capacidad de 24.000 toneladas/año para su comercialización a nivel nacional, de las cuales sólo cinco cuentan con la certificación del INVIMA sobre implementación del plan HACCP3 , requisito imprescindible para ingresar en los mercados internacionales. Estas últimas se

encuentran localizadas en los departamentos del Huila, Tolima, el Valle del Cauca, Cauca y una en el eje cafetero (FEDEACUA, 2001).

#### 4.3.7 Comercialización

Por último, los productos procesados o bienes finales son acopiados por agentes comercializadores, tales como las tiendas mayoristas, supermercados, restaurantes especializados, entre otros, quienes se encargan de su distribución para el consumo interno. En el diagrama 1 se puede ver toda la estructura y organización de la piscicultura en Colombia, desde el alevinaje hasta su comercialización, incluyendo a los agentes que se involucran en ella.

Figura 6. Estructura de la Cadena Productiva de la Piscicultura



Fuente: Cadena Piscícola de Colombia - 2004

#### 4.4 REUSO DE AGUAS RESIDUALES PARA PISCICULTURA

En términos ambientales, el reuso del agua residual implica un ahorro y un uso eficiente del recurso, llevando a una sostenibilidad que tendría impactos positivos para quien implemente este tipo de acciones, como para el ambiente. Una de las ventajas de reusar aguas residuales son:

- Se evita la contaminación de fuentes superficiales y se cuenta con suministro constante.
- Se emplea racionalmente el agua dulce especialmente en zonas áridas y semiáridas.
- Se reduce la necesidad de fertilizantes y evita la eutrofización de lagos (NPK )
- Se enriquece el suelo por humus y prevención de erosión.
- Se lucha contra la desertificación mediante riego y fertilización de bosques
- Se mejora el paisaje y espacios verdes en la periferia de ciudades.

(Fuente: Minambiente, 2004)

En este sentido, para la piscicultura, el reuso de aguas residuales se convierte en un abono el cual trae un aumento considerable en la producción, ya que se eleva la concentración de plancton debido a las cargas de macronutrientes que traen consigo las aguas residuales, teniendo como resultado alimento diverso y constante para las especies ícticas.

Realmente, casi todos los experimentos y cultivos a escala comercial donde el agua de desecho ha sido introducida a estanques, reportan una producción más alta de peces que aquellas que se obtienen normalmente en la misma área. (Hepher B. Pruginin Y, 1991).

Algunos factores para el reuso de aguas residuales limitan el uso de la misma, como por ejemplo: aspectos de salud pública, metales pesados y respuesta de la sociedad consumista frente al uso de aguas residuales en la producción de peces. Sin embargo, para cada uno de estos puntos puede haber diversas soluciones. Otras limitaciones pueden estar relacionadas con el tipo de especie cultivada, como en el caso de la Trucha donde se requiere calidad agua es más exigente.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 OBJETIVO GENERAL**

Contribuir con el estudio de descontaminación de las fuentes superficiales de agua, mediante la caracterización de los efluentes piscícolas y determinando los niveles de contaminación producidos en esta actividad basados en la legislación vigente.

### **5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar por cantidad y calidad el efluente de dos piscícolas, una productora de trucha y otra productora de tilapia
- Evaluar el sistema de remoción de sólidos del efluente ubicado en la piscifactoría El Diviso

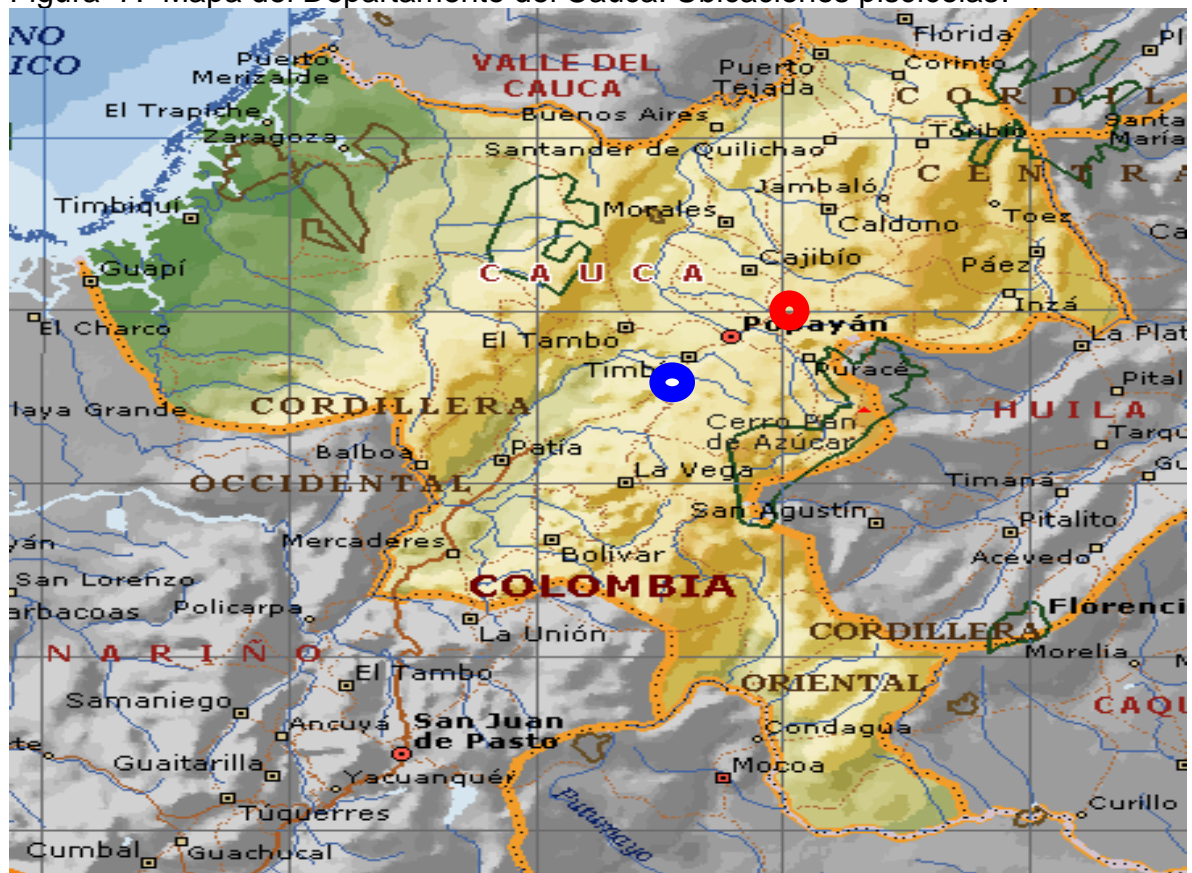


## 6. METODOLOGIA

### 6.1 MARCO CONTEXTUAL

El estudio se desarrolló en dos piscícolas: Pambío, y la Piscifactoría el Diviso. La primera está ubicada en el Municipio de Timbío del Departamento del Cauca, propiedad de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), consta de una serie de lagunas con fondo en fango para el levante y engorde de tilapia, producto para fines de pesca deportiva. La Piscifactoría El Diviso está ubicada en el municipio de Popayán, en el corregimiento de Quintana y corresponde a la mayor productora de trucha del país (Ver figura 7).

Figura 7. Mapa del Departamento del Cauca. Ubicaciones piscícolas.



Biblioteca de Consulta Microsoft © Encarta © 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

- Ubicación Piscifactoría El Diviso
- Ubicación Estación Piscícola Pambío

## 6.2 OBJETIVO 1.

Se presentaron dos condiciones en el efluente de los estanques y lagos usados en la producción de peces: una durante la cosecha y la otra durante el proceso de levante y engorde.

La primera de estas condiciones evaluadas que fue la operación normal (Levante y Engorde) para la cual se tomaron muestras del agua a la entrada y a la salida en ambas estaciones para determinar las variaciones o aportes de materia orgánica, sólidos suspendidos, macronutrientes y la demanda bioquímica de oxígeno, los demás aportes evaluados se desarrollaron con la intención de ser un soporte a los parámetros en estudio (ver tabla 3). Los procedimientos de análisis de laboratorio se referencian en el anexo F.

Esta caracterización se realizó dos veces por semana durante el periodo de estudio tanto para el efluente de la piscícola de Pambío como para la Piscifactoría El Diviso.

La condición de cosecha (evaluada únicamente en la estación piscícola de Pambío) se consideró como un evento puntual, dada la periodicidad y a la naturaleza de la misma; se presenta una alteración total del medio de cultivo por el ingreso de los operarios y una cambio estético de las aguas por la alta tasa de resuspensión de sólidos presentes en los estanques de cultivo.

En el caso de la piscifactoría de El Diviso se tuvo en cuenta la operación de mantenimiento o barrido de los estanques, en la cual se presenta un fenómeno similar al de la cosecha en Pambío.

El estudio de la cosecha y la operación de barrido se realizaron una vez en la fase de muestreo.

Tabla 3. Parámetros de medición para caracterización del efluente durante el proceso de levante y engorde, cosecha y mantenimiento.

<b>Parámetro</b>	<b>Nº Análisis</b>
Caudal	10
Turbiedad	10
Sólidos Suspendidos	10
pH	10
Coliformes Fecales	10
DBO	10
DQO	10
Nitratos	10
Fosfatos	10
Temperatura	10

Se determinó la curva de sedimentabilidad del agua con base en el parámetro turbiedad, considerando la cosecha y el mantenimiento de estanques.

### 6.3 OBJETIVO 2.

Para el desarrollo de este objetivo se estudió el sistema implementado por la Piscifactoría El Diviso para la remoción de los lodos presentes en el efluente en la operación de barrido, el cual tiene una duración de aproximadamente 15 minutos. El sistema consta de un tanque sedimentador, un tanque regulador y un sistema para el secado de los lodos.

La metodología para el desarrollo del presente objetivo fue la determinación de la calidad de entrada y salida, así como la determinación de los caudales de entrada y salida, con los cuales se pudo estimar las cargas superficiales del sedimentador, así como los tiempos de retención hidráulicos. Además se realizó una prueba de sedimentabilidad con la cual se calcularon velocidades de sedimentación con sus respectivas eficiencias teóricas. Con las dimensiones del sedimentador, y la evaluación de los sólidos suspendidos de entrada y salida, se calculó la eficiencia real, para establecer el desempeño mediante la comparación con las eficiencias teóricas.

La calidad de agua fue medida con los parámetros, puntos de muestreo y frecuencias que se indican en la tabla 4. Se ha considerado una mayor frecuencia de los parámetros relacionados con los sólidos dado que el sistema implementado tiene por objetivo primordial su remoción, otros parámetros serán evaluados mas como parámetros de control y con una menor frecuencia.

Tabla 4. Parámetros de medición para la evaluación del sistema de remoción de sólidos de la Piscifactoría El Diviso.

<b>Parámetro</b>	<b>Nº Análisis</b>
Turbiedad	3
Sólidos Suspendidos	3
pH	3
Coliformes Fecales	3
DBO	3
DQO	3
Nitratos	3
Fosfatos	3
Temperatura	3

## 7. ANÁLISIS Y DICUSIÓN DE RESULTADOS

### 7.1 ESTACIÓN PISCICOLA DE PAMBÍO

En la Estación Piscícola de Pambío se hicieron muestreos en la etapa de levantamiento y engorde de Tilapia Nilótica, principal especie cultivada en la estación, que para este estudio se denominó como operación normal. Cuando los peces alcanzan su tamaño y peso ideal, son extraídos de los estanques o lagunas en los cuales se encuentran los mismos para fines comerciales. A esta etapa la denominamos Cosecha. La presentación y discusión de resultados se presentarán acordes a los dos procesos indicados.

En la tabla 5 se presentan los datos correspondientes a la operación normal en la piscícola de Pambío.

Tabla 5. Resumen de parámetros en la estación piscícola de Pambío.

AGUA DE ENTRADA										
	CAUDAL	TEMP	DBO	DQO	pH	TURBIEDAD	FOSFATOS	NITRATOS	SOLIDOS SUSPENDIDOS	COLIFORMES
	(L/S)	(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(Und)	(NTU)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	UFC/100ml
<b>Promedio</b>	0,91	17	0,8	4,76	----	6,5	0,0162	0,1347	2,70	537,00
<b>Desv</b>	0,47	0,67	0,59	2,3	-----	2,12	0,0067	0,1128	1,64	342,19
<b>Max</b>	1,40	18	1,7	6,78	7,71	9	0,0299	0,3847	6	1240
<b>Min</b>	0,13	16	0,1	1,74	6,05	4	0,0102	0,0152	1	150
<b>No Datos</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
AGUA DE SALIDA										
	CAUDAL <sup>*</sup>	TEMP	DBO	DQO	pH	TURBIEDAD	FOSFATOS	NITRATOS	SOLIDOS SUSPENDIDOS	COLIFORMES
	(L/S)	(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(Und)	(NTU)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	UFC/100ml
<b>Promedio</b>	-----	19,4	2,77	7,03	----	24,8	0,0155	0,2097	17,2	492,80
<b>Desv</b>	-----	0,57	1,09	3,2	-----	5,25	0,0086	0,1296	7,79	246,06
<b>Max</b>	-----	20	4,8	11,8	7,65	37	0,0384	0,5079	34	1000
<b>Min</b>	-----	18,5	1,5	4,26	6,54	18	0,0102	0,0404	7	101
<b>No Datos</b>	-----	10	10	10	10	10	10	10	10	10

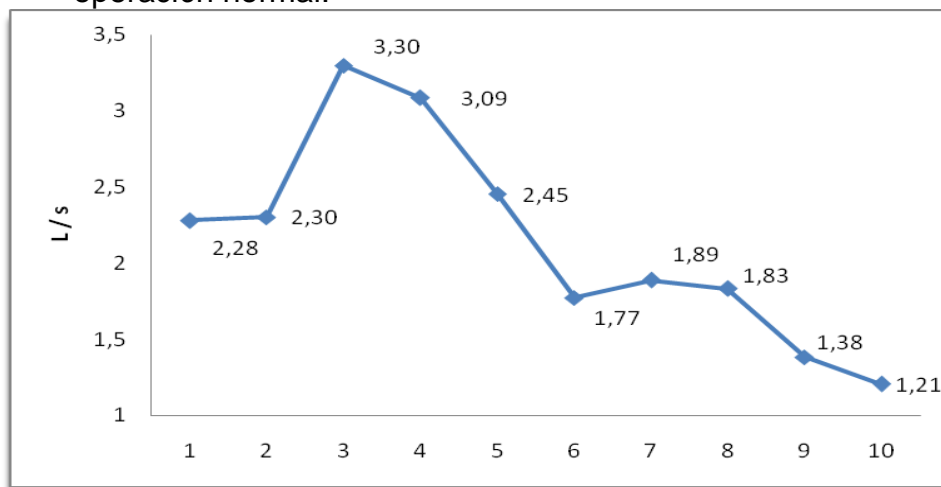
\* El caudal de salida no fue posible medirlo por la mezcla con otros efluentes de estanques cercanos

## 7.1.1 Efluente en operación normal

### 7.1.1.1 Caudal

El caudal promedio de entrada (figura 8) encontrado en el estanque estudiado es de 0.91L/s, las dimensiones físicas del estanque son de 0.75m de profundidad en promedio con un ancho de 12.64m y 25m de largo. Para el cultivo de peces es importante el recambio de agua que se realiza durante todas las fases del proceso, según los datos anteriores este estanque entonces presenta un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 72.35 h (3 días) lo que significa un recambio de agua del 24.8% diario que comparado con los valores reportados se manejan caudales superiores, ya que se establecen valores del 20% de recambio de agua para esta fase de cultivo catalogada como precria (INCOPESCA, 2005). Este valor adicional en el recambio parece suficiente para asegurar un agua fresca de manera constante, pero debido a la densidad que presenta este estanque de 25 individuos/m<sup>3</sup> frente a los 15 individuos/m<sup>3</sup> reportados en la literatura (INCOPESCA, 2005), esta diferencia de densidades hace ver que no se utiliza caudales abundantes como aparentemente se observa con los datos del recambio de agua.

Figura 8. Comportamiento del caudal en la estación piscícola de Pambío en operación normal.

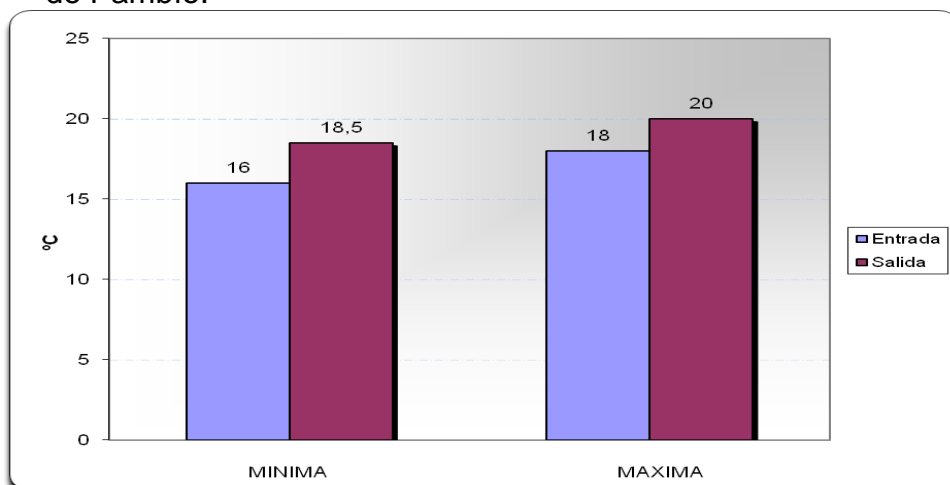


### 7.1.1.2 Temperatura

La temperatura promedio del agua registrada a la entrada siempre se mostró más baja que la temperatura promedio registrada a la salida de los estanques en todo el desarrollo del muestreo (Ver Tabla 5). La amplitud térmica total promedio durante el período de muestreo fue de 4 °C, basada en una mínima registrada (16 °C), y una máxima registrada (20 °C) durante la operación normal, para la cual la lectura de este valor se realizó a las 9 a.m. para el afluente y a las 9:30 a.m. para el efluente durante todo el periodo de estudio. (Ver figura 9).

La presencia de este gradiente de temperatura obedece a la exposición que tiene el agua en los estanques de cultivo a los rayos solares los cuales por radiación térmica elevan la temperatura. La luz incidente en el cuerpo de agua permite un desarrollo de algas y alguna vegetación en dichos estanques ocasionando una disminución en el área efectiva de los mismos. Este ligero calentamiento es benéfico en cuanto a la producción piscícola se refiere ya que al ser los peces organismos poiquiloterms la temperatura incide directamente sobre su metabolismo y el de los demás organismos acuáticos que cohabitan en el estanque y al ser un cambio bajo de temperatura se evitan las enfermedades y mortalidades por estrés térmico, además de lograr un mayor crecimiento de las especies de cultivo en menor tiempo ya que se ha establecido que el desarrollo es por lo general más lento en bajas temperaturas y el periodo de cultivo requerido para llevar a los peces a la talla comercial es entonces más largo (Acuica, 2000), por ejemplo para el crecimiento óptimo se necesitan temperaturas entre 29 y 31 °C para el cultivo de tilapia (Colado, 2004).

Figura 9. Valores máximos y mínimos de la temperatura en la estación piscícola de Pambío.



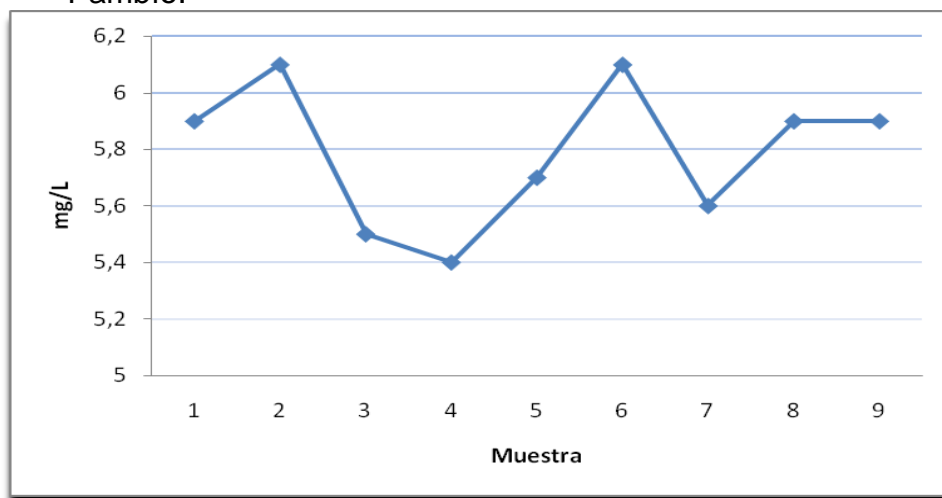
### 7.1.1.3 Oxígeno Disuelto

La concentración del oxígeno disuelto presentada en esta estación alcanza rangos entre los 6.5 – 9.4 mg/L O<sub>2</sub>, para ser Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) la especie de cultivo, estos niveles son suficientemente aceptables ya que la concentración normal de oxígeno para una correcta producción es de 2-3 mg/L O<sub>2</sub> (Colado, 2004).

Se puede decir que este parámetro en operación normal no es una limitante para el proceso productivo, ya que los niveles de O.D. son 3.18 veces superiores (en promedio) a los necesarios para una correcta producción. La concentración mínima necesaria para la sobrevivencia de esta especie es de 0,5 mg/L, esta particularidad se debe, en parte, a la habilidad de este tipo de pez para extraer el oxígeno disuelto del film de agua de la interfase agua-aire, cuando el gas se encuentra en los cultivos por debajo de 1 mg/l (Colado, 2004), por lo tanto aunque se produzca procesos de eutrofización en estos estanques de cultivo, los efectos por la baja concentración de oxígeno disuelto no son una amenaza para la producción.

En promedio el efluente de la estación piscícola presenta concentraciones de 5.8 mg/L O<sub>2</sub>, que es un valor aceptable para el cuerpo de agua receptor ya que comparando este valor con la norma RAS 2000 para clasificar las fuentes superficiales usadas para abastecimiento, clasifica el efluente como una fuente aceptable para ser usado como fuente de agua de consumo humano. Entonces a manera global, este parámetro para las condiciones de operación normal no representa un deterioro en términos ambientales y de la calidad de las aguas receptoras.

Figura 10. Comportamiento del O.D. en efluente de la estación piscícola de Pambío.



Como se puede observar en la figura 10, el comportamiento del oxígeno disuelto presenta un comportamiento estable ya que el rango de variación determinado basándose en los datos de muestro es de 0.7 mg/L O<sub>2</sub>, esta leve variación permite afirmar que durante el proceso de operación normal, el efluente tiene una calidad constante en cuanto a este parámetro. Este hecho, hace pensar que el sistema de cultivo en estanques en tierra presenta procesos biológicos estables que emiten una concentración favorable o adecuada de oxígeno disuelto al medio. El valor mínimo de 5.4 mg/L O<sub>2</sub> puede bajar en horas de la madrugada por efectos de la eutroficación que sumado a los niveles encontrados en el cuerpo de agua receptor si se puede llegar a niveles críticos y de esta manera llegar a impactos negativos en los ecosistemas acuáticos.

#### 7.1.1.4 Materia Orgánica

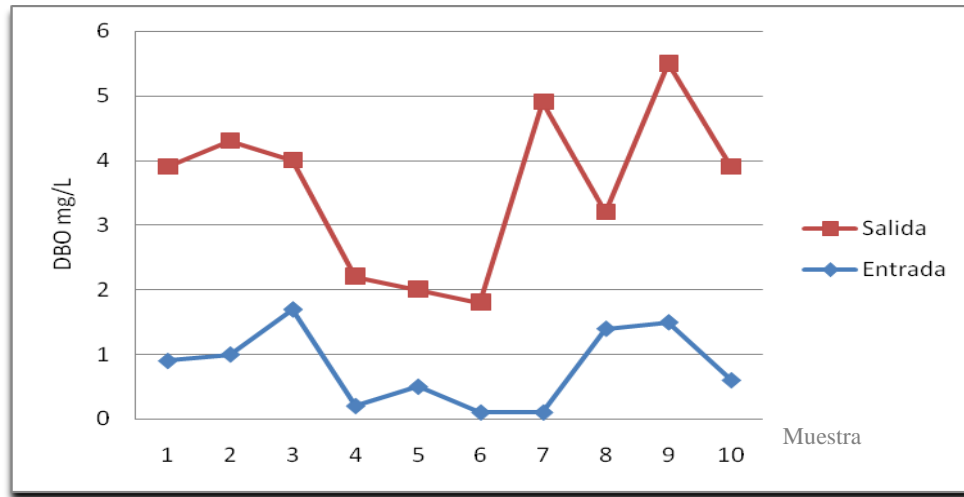
##### Demanda Bioquímica de Oxígeno

Este parámetro presenta un aumento de valores entre el afluente y el efluente (figura 11) los cuales obedecen a la cantidad de materia orgánica que se adiciona al agua en forma de alimento concentrado utilizado en las granjas piscícolas, la biomasa de fitoplancton producido en el espejo de agua y el volumen de excreta producido por los peces, los cuales se acumulan en el fondo del estanque, dados los tiempos de retención que presentan en él.

Tal como se había mencionado anteriormente, el volumen de excreta producido por los peces es la mayor fuente de residuos orgánicos entre el 25 y el 30% se convierte en residuo fecal (Kubitza, 1999. Citado por Hussar. *et. al.*, 2005) Este material orgánico, no solo genera contaminación de tipo microbiológica, sino que también consume el oxígeno disuelto del agua, que compite con el oxígeno requerido por los peces (Acuica, 2000).



Figura 11. Valores máximos y mínimos de la DBO en la estación piscícola de Pambío.

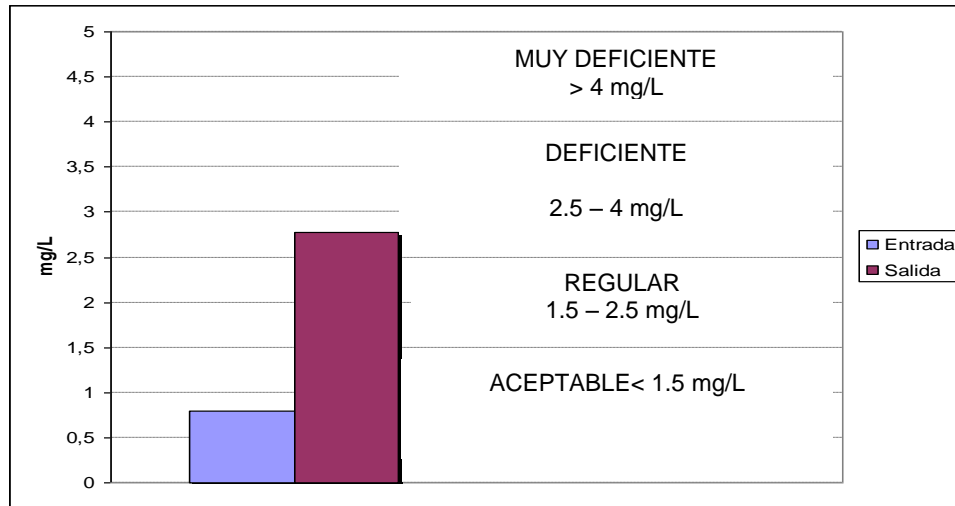


Según Crites y Tchobanoglous (2000), el valor usual de la concentración de DBO es de 210 mg/L para aguas residuales domésticas, siendo esta carga casi 76 veces más alta que la que se registra en la piscícola de Pambío. De esta manera se puede ver que la calidad del efluente piscícola en operación normal no se compara a la calidad de otros efluentes tales como los de aguas residuales domésticas y procesadoras de tomate (15 veces superior a la piscícola) por sus bajas concentraciones y/o aportes de materia orgánica.

Además, comparando los valores obtenidos en la piscícola de Pambío frente a datos de  $DBO_5$  en el cultivo de Barbo (*Ictalurus punctatus*) en los Estados Unidos, las concentraciones de materia orgánica, medida en DBO, dieron como resultado concentraciones de 14.9, 23.6, 11 y 12.8 mg/L en primavera, verano, otoño e invierno respectivamente en promedio (Tucker et al, 1996) en operación normal los cuales son superiores a los valores determinados en la piscícola en estudio, ya que esta presenta concentraciones diluidas

Por otra frente a los límites permitidos en el RAS 2000 (tabla B 2.1); el agua de entrada es de calidad aceptable ( $DBO_5 < 1.5$  mg/L) pero a la salida de la estación piscícola es de calidad deficiente ( $DBO_5$ ; 2.5 – 4 mg/L) lo que encarece el uso de este efluente para consumo humano ya que se presentan cargas de 67Kg/mes. Ver Figura 12.

Figura 12. Comparación de la norma RAS 2000 con los datos de DBO5 en operación normal.



#### 7.1.1.5 Sólidos

##### Turbiedad

Teniendo en cuenta que la turbiedad determina el desarrollo del fitoplancton que constituye la base de la producción natural en los cuerpos de aguas se puede observar en la figura 13 el efecto del cultivo de peces incide directamente en la concentración de este parámetro porque la turbiedad es causada por un alto contenido de sólidos suspendidos como minerales de barro (Hepher *et al*, 1991) lo cual se explica por el hecho de ser estanques construidos en tierra y el color pardo del agua de los estanques, que puede estar afectando la formación de fitoplancton y la presencia de zooplancton en los estanques. Aunque la presencia de la turbiedad es algo beneficioso para la protección de los individuos frente a depredadores, altos niveles de turbidez afectan la habilidad de los peces para capturar el alimento, lo cual se traduce en la pérdida y acumulación del concentrado en el fondo del estanque, cuya descomposición exige gran cantidad de oxígeno disuelto (Acuica, 2000), es por esto que se debe tener criterio a la hora de aplicar abonos al agua para estimular el crecimiento de los productores primarios en los estanques. La turbidez además se ve influenciada por el movimiento de los peces en el fondo del estanque que al ser en tierra, el contacto constante con el agua forma un lodo ligero el cual con el simple movimiento de los peces se resuspende implicando una mayor turbidez y a su vez una mayor concentración de los sólidos suspendidos.

En la actividad de operación normal, el impacto frente a la calidad de una posible fuente superficial para consumo humano se manifiesta en la medida que el agua

sigue en un rango de calidad regular pero presenta valores más altos a la salida que a la entrada, más específicamente 3,8 veces como se puede apreciar en la figura 14.

Figura 13. Valores de la turbiedad en la estación piscícola de Pambío en operación normal.

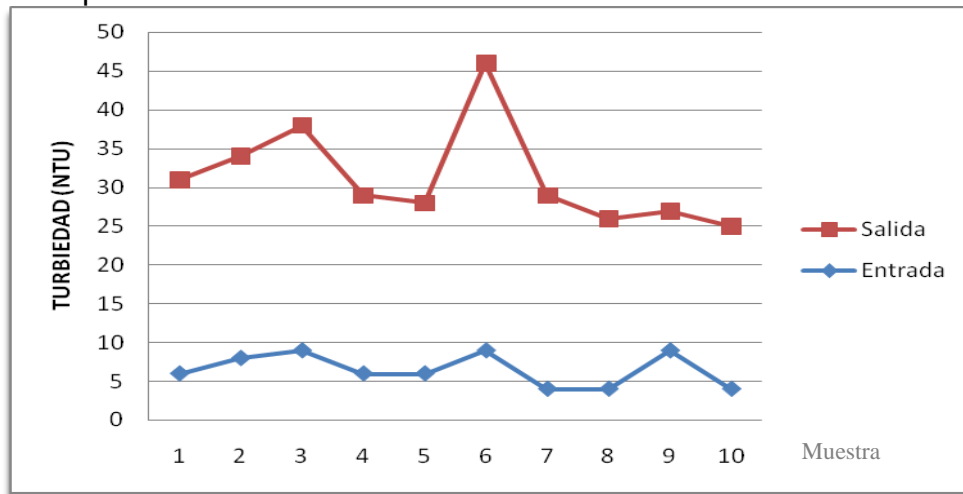
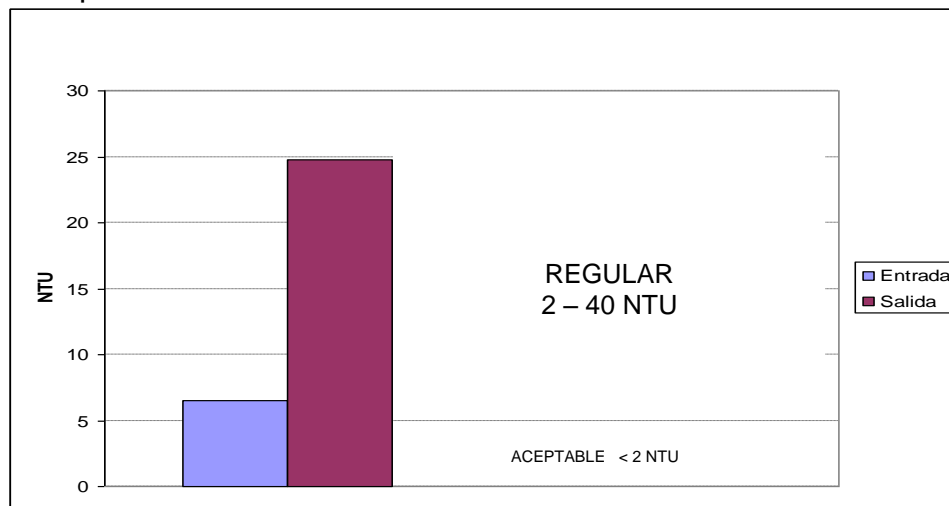


Figura 14. Comparación de la norma RAS 2000 con los datos de turbiedad en operación normal.

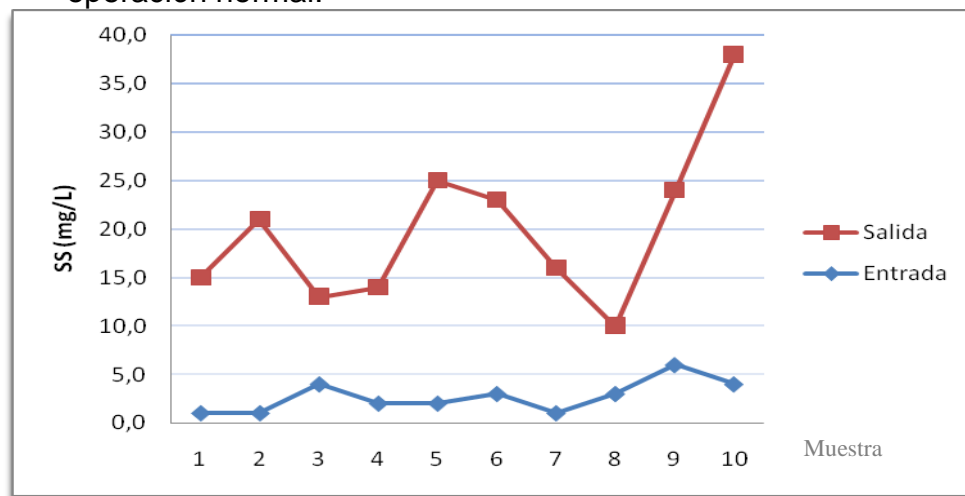


## Sólidos Suspendidos

Como era de esperarse el aporte de sólidos en los efluentes en la actividad piscícola es notoria; a la entrada de la piscícola Pambío la cantidad máxima de sólidos es 6mg/L (Ver figura 15) comparada con la concentración máxima registrada a la salida 34 mg/L (466% la concentración máxima a la entrada), esto en operación normal cuando la resuspensión de sólidos es poca ya que el movimiento del agua está bajo la influencia de las corrientes hidráulicas presentes dentro del estanque y algunas externas como la recirculación causada por el viento y por el movimiento de los peces en el fondo del estanque. El principal efecto mecánico de sólidos suspendidos es el daño a la estructura de las branquias, el cual es más pronunciado cuando el agua contiene alrededor de 4% por volumen de sólidos (Hepher *et al*, 1991).

Comparando nuevamente este efluente piscícola con otro tipo de efluentes industriales, vemos que como en parámetros anteriores la actividad de la piscicultura no genera niveles críticos y también muy inferiores a estos otros tipos de efluentes industriales.

Figura 15. Variabilidad de los SS en la estación piscícola de Pambío en operación normal.



### 7.1.1.6 Macronutrientes

Los valores máximos de este parámetro recolectados en operación normal para nitratos( $\text{NO}_3^-$ ) como fosfatos( $\text{PO}_4^-$ ) fueron de 0.3847 mg/L y 0.0299 mg/L, son bajos, aun mas bajos que los establecidos en la Norma técnica para calidad del

agua potable (Decreto 475 de 1998), que son de 10mg/L y 0.2 mg/L para  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^-$  respectivamente.

Un análisis de varianza realizado a los datos de entrada y salida, mostró, con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ , que no existen diferencias significativas en las concentraciones de Nitratos y de igual manera fosfatos, lo cual parece indicar que el proceso de producción no afecta las concentraciones efluentes de estos parámetros. Adicionalmente la concentración promedio de salida de fosfatos presenta una leve disminución a la salida, la cual puede indicar que estos se están sedimentando en el estanque.

Frente a otros efluentes piscícolas el de la estación piscícola de Pambío presenta bajas concentraciones ya que por ejemplo una piscícola productora de Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) en el Reino Unido, los valores de nitratos fueron de 5.4 mg/L y 4.63 para nitratos y fosfatos, además en el cultivo de la especie Chanos chanos (Taiwán) el fosfato presentó una concentración de 6.65 (promedio anual), por lo tanto esta estación piscícola no presenta valores preocupantes.

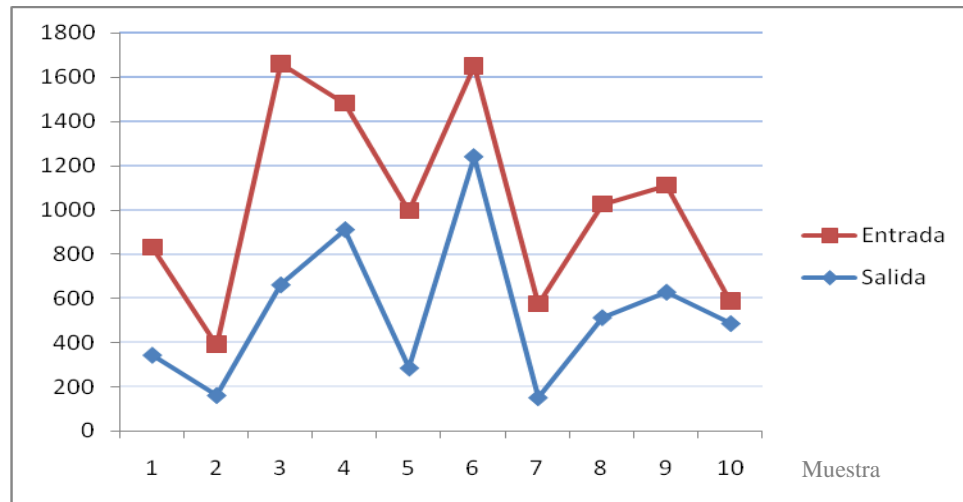
Frente a otros efluentes industriales como por ejemplo el caso de una vinícola, los valores de Pambío son muy inferiores, ya que los reportados en la vinícola oscilan entre 23 - 53 mg/L  $\text{NO}_3^-$  y para el caso de una procesadora de tomate los valores fueron de 0.1 – 2.2 mg/L  $\text{NO}_3^-$ . Basándose en esta comparación los efluentes piscícolas no aportan muchos macronutrientes posiblemente porque son utilizados en los mismos estanques de siembra por las algas que se generan dentro de los estanques y por la vegetación de los bordes de los estanques, concepto no errado porque así los indica el color de las aguas y se confirma en la abundante vegetación que rodea los estanques. Además el sistema de estanques en tierra es único ya que estos tienen la capacidad de asimilar los residuos contenidos en el mismo, debido a que a medida que transcurre el tiempo los procesos naturales presentes en el estanque permiten disminuir las concentraciones de nitrógeno, fósforo y materia orgánica (EPA, 2004).

#### 7.1.1.7 Coliformes

En operación normal el promedio de los coliformes fecales en la estación piscícola es menor a la salida, este número de microorganismos es menor dado que los estanques operan como una laguna de estabilización; por la acción de los rayos solares (acción desinfectante) e interacciones microbiológicas (depredación) se cumple un tratamiento parcial. La profundidad del estanque (máxima 80 cm) influye en la manera en que los rayos solares penetren hasta el fondo del estanque dando este resultado. Es posible que la producción de coliformes fecales

en los estanques sea alta, pero el fenómeno anterior hace que la adición de estos patógenos en el efluente sea reducida hasta el punto de ser menor a la salida que el recibido a la entrada de la piscícola (figura 16).

Figura 16. Comportamiento de los de los coliformes fecales en operación normal.



### 7.1.2. Efluente de cosecha

Para evaluar la calidad del agua durante el periodo de cosecha, se midió la calidad efluente hora a hora durante el tiempo que duró esta actividad, (aproximadamente 6 horas) los datos de los parámetro medidos se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Datos de los parámetros evaluados en cosecha.

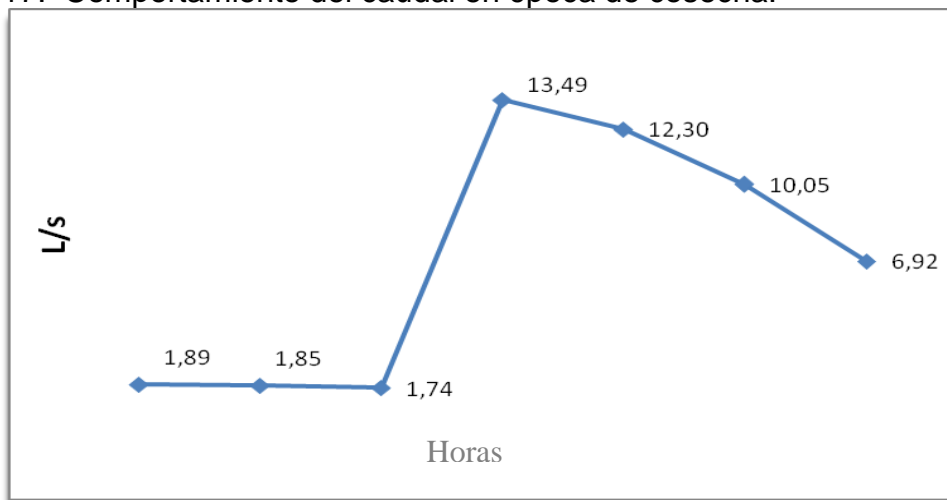
HORA	CAUDAL L/s	TEMP °C	DBO mg/L	DQO mg/L	Ph	Turbiedad NTU	FOSFATOS mg/L	NITRATOS mg/L	SOLIDOS SUSPENDIDOS mg/L	COLIFORMES UFC/100MI
11:00	1,89	19	2,3	4,26	7,08	25	0,0119	0,318	265	280
12:00	1,85	20	3,1	9,30	6,87	27,6	0,0119	0,274	80	470
13:00	1,74	20	2,2	4,26	6,81	30,1	0,0119	0,104	90	320
14:00	13,49	21	360,25	503,32	6,28	1054	0,0142	0,416	2040	1490
15:00	12,30	21,5	43,84	69,79	6,99	282	0,0339	0,435	1145	500
16:00	10,05	23	106,5	160,53	6,34	555	0,0322	0,353	3630	780
17:00	6,92	22	179,07	311,76	6,28	1620	0,0446	0,457	5210	3760

### 7.1.2.1 Caudal

En principio el caudal se comporta de igual manera que en operación normal, pero cuando se empieza a desaguar el estanque el caudal presenta un incremento de 7.75 veces el caudal normal, este aumento implica un incremento en la concentración de materia orgánica, sólidos, DBO y macronutrientes.

A medida que avanza el proceso de cosecha se presenta una disminución en el caudal (figura 17) dado que se reduce el volumen de agua (carga hidráulica) pero se genera por este mismo hecho una mayor de concentración en las emisiones sobre todo al final del proceso ya que se presenta una gran agitación del agua en un área más pequeña del estanque (caja de recolección). Este aumento de caudal tiene un tiempo de duración de aproximadamente 5 horas (desde que se baja el tubo por primera vez hasta que se desagua totalmente el estanque), de esta manera se determina la cosecha como un evento puntual de corta duración y eventual periodicidad en la cual se presentan emisiones al cuerpo de agua receptor que deterioran su calidad.

Figura 17. Comportamiento del caudal en época de cosecha.



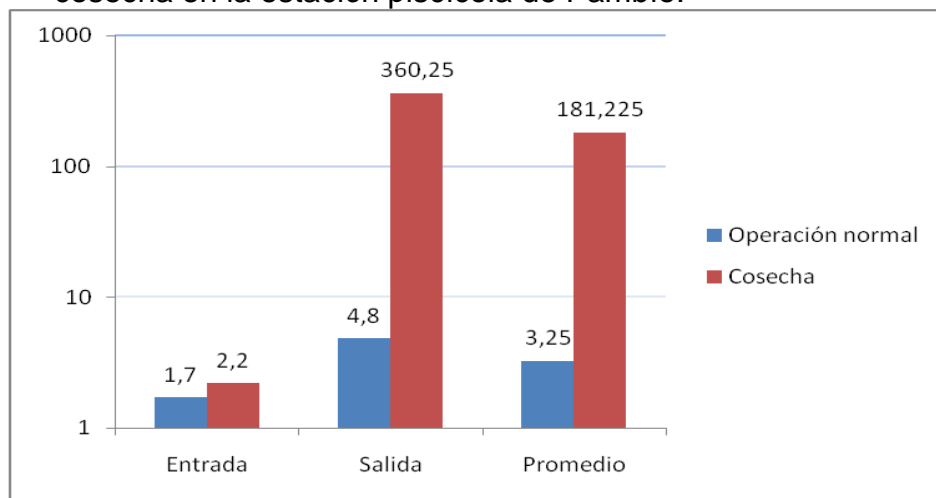
### 7.1.2.2. Materia orgánica

#### Demanda Bioquímica de Oxígeno

En época de cosecha los valores de este parámetro se incrementan. Estos incrementos pueden ser explicados por la resuspensión de los contaminantes

depositados en el fondo, así como los que existen en forma disuelta en el cuerpo de agua, también por la forma en que se realiza la cosecha y el drenaje usado, como lo explica LIN Kwei *et al*, 2003. El método de cosecha utilizado en este caso incrementa el contenido de DBO y DQO respecto de los niveles alcanzados durante la operación normal, tal como se puede apreciar en la figura 18. La condición de descarga durante la cosecha se puede considerar como una situación puntual de emisión de contaminantes, pero en los procesos de cosecha es en donde los aportes de materia orgánica son altos. Estos niveles de materia orgánica hacen pensar que se hace necesario algún mecanismo de mejoramiento en el proceso productivo o establecer el tipo de tratamiento adecuado a este tipo de efluentes.

Figura 18. Comparación de los datos de DBO<sub>5</sub> en época de operación normal y cosecha en la estación piscícola de Pambio.



Confrontando los datos de DBO<sub>5</sub> en cosecha y operación normal (Figura 18), se puede ver la alteración o mejor, el incremento en el aporte de materia orgánica, los cuales llegan a ser hasta 75 veces superior (en época de cosecha) que comparando este valor de 360,25 mg/L frente al RAS 2000, el agua está muy por encima del límite lo que representa un agua de calidad muy deficiente para ser utilizada como fuente de agua potable. Esta alta variación permite entonces determinar que los aportes de materia orgánica en los efluentes piscícolas son muy altos, lo cual confirma la literatura que establece este parámetro junto con los macronutrientes (fósforo y nitrógeno), los sólidos suspendidos y bajos niveles de oxígeno disuelto como los aportes emitidos por este tipo de actividad comercial (EPA, 2004).



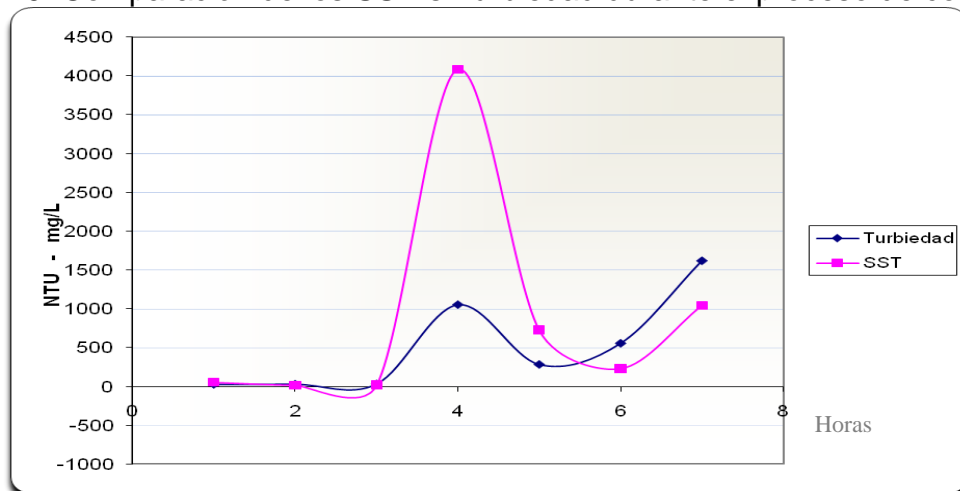
## Demanda Química de Oxígeno

Al hablar del efluente de cosecha se concluye que existe un gran aporte de materia orgánica pues se tiene un índice de biodegradabilidad igual a 1.52, lo cual se explica por el aporte de lodos y material sedimentado en el fondo de los estanques.

### 7.1.2.3. Sólidos

Como se puede apreciar en la gráfica 19, los valores de SST y Turbiedad tienen similar comportamiento. Esto se debe a que en la medida en que aumenta los aportes de sólidos en el efluente, este presentará una mayor turbiedad. El pico que se presenta a las 4 horas del proceso obedece a que es en este momento donde se inicia el desagüe del estanque, incrementando de esta forma el caudal, generando un arrastre brusco de los sedimentos cercanos a la estructura de drenaje. Después de esta etapa del proceso (una hora después) los sólidos presentan una disminución en la concentración, lo cual se debe a que mientras los operadores hacen la separación de los individuos recolectados, una fracción de los sólidos al parecer alcanzan a decantarse nuevamente, sin embargo, hacia final del proceso (séptima hora de cosecha), la concentración de sólidos nuevamente presentan un incremento que responde al poco volumen de agua y la acumulación de lodos en la caja de recolección que son resuspendidos por que los operarios trabajan en esta área del estanque al finalizar el proceso que termina con un drenaje total del estanque y su posterior secamiento durante los tres o cuatro días siguientes.

Figura 19. Comparación de los SS Vs Turbiedad durante el proceso de cosecha.



Los sólidos suspendidos son el mayor contaminante de la producción concentrada de animales acuáticos, ya que estos aumentan la turbiedad reduciendo la penetración lumínica, disminuyendo además la tasa fotosintética y por lo tanto el oxígeno disuelto. Además los sólidos suspendidos pueden incrementar la temperatura de la superficie del agua porque las partículas absorben el calor proveniente del sol. Estas altas temperaturas resultan en una disminución del oxígeno disuelto porque a mayor temperatura menor concentración de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua (EPA, 2004).

En época de cosecha el aumento de los sólidos en el efluente (Figura 19) se ve influenciado por el agitación del medio, ya que el procedimiento de cosecha se realiza de forma manual en la cual los operarios de la estación se introducen en el agua y empiezan a atravesar los estanques con la red de arrastre para capturar los peces, generando una alta tasa de reincorporación de sólidos, incrementado a su vez por el agitado movimiento de los peces durante este procedimiento.

El método de cosecha es de bastante importancia tratándose de emisiones al medio ya que como lo señaló Boyd (citado por la EPA, 2004) el 95% de los sólidos sedimentables y el 26% de la demanda bioquímica de oxígeno son descargados en el proceso de cosecha, por lo tanto retener este efluente significaría una importante reducción de estos contaminantes en el efluente. Entonces unas mejores prácticas en el proceso de cosecha significarían una importante reducción de las concentraciones emitidas al cuerpo de agua receptor.

#### Curva de sedimentabilidad

Con base en una muestra tomada en el efluente de la cosecha, se determinó la curva de sedimentación, basados en la turbiedad (ver figura 20). A partir de esto se determinó la eficiencia del proceso asociada a velocidades de sedimentación, las cuales se presentan en la tabla 7. Los datos indican que la eficiencia máxima del proceso es del orden del 67%, con velocidades de sedimentación críticas de 0.02 m/min. Estos resultados muestran que la remoción de estos sedimentos por sedimentación simple es limitada dadas las bajas velocidades críticas requeridas para una moderada eficiencia de remoción. Probablemente el uso de filtros en grava podría tener mejores eficiencia de remoción que la sedimentación simple.

Figura 20. Curva de sedimentabilidad en la cosecha de Pambío.

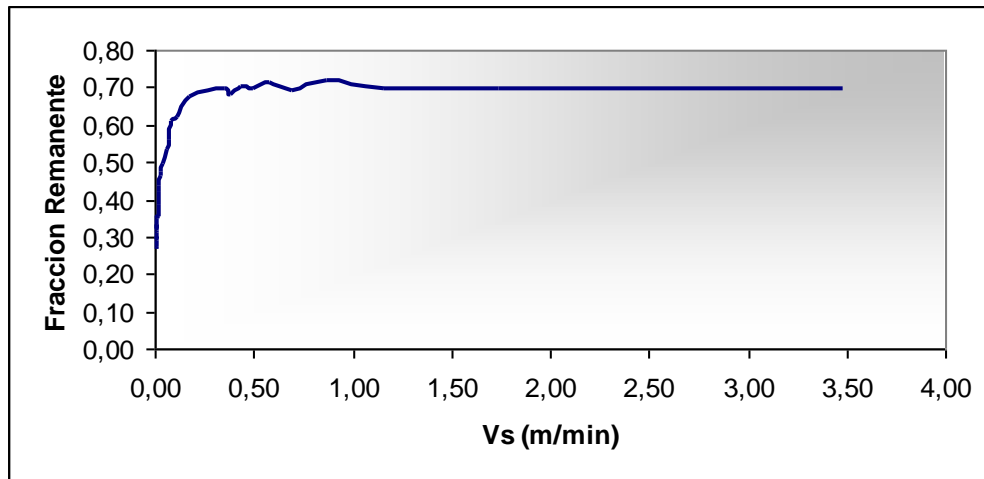


Tabla 7. Porcentajes de Remoción y Velocidades Críticas de Sedimentación en Pambío.

Vsc (m/min)	RT
1.0	0.34
0.5	0.37
0.3	0.41
0.2	0.45
0.1	0.52
0.06	0.59
0.04	0.63
0.02	0.67

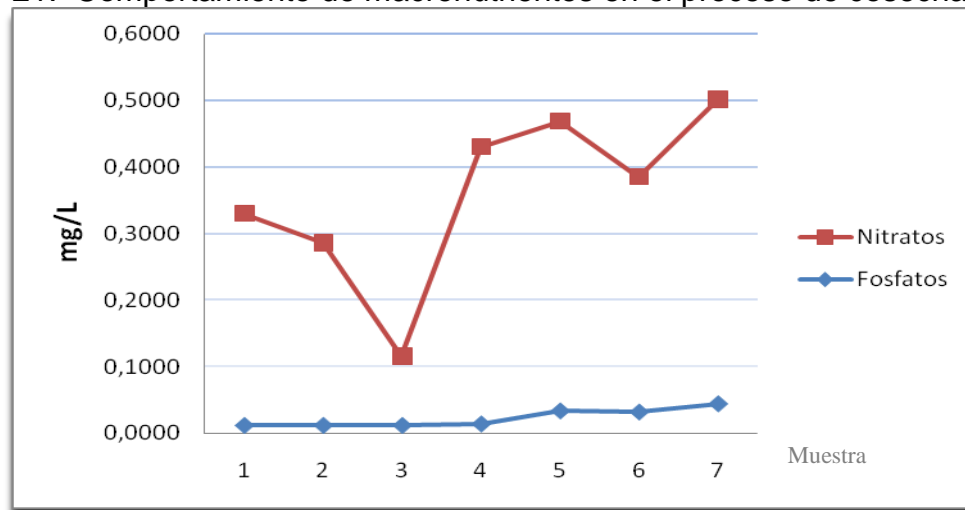
#### 7.1.2.4. Macronutrientes

Al igual que en operación normal, las concentraciones en el proceso de cosecha tanto de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) como de fosfatos ( $\text{PO}_4^-$ ) son bajas, 0.457mg/L para nitratos y 0.0446mg/L para fosfatos, aunque se presenten incrementos en las concentraciones en 1.2 y 1.5 veces para nitratos y fosfatos respectivamente. El posible efecto de este aumento en la época de cosecha es que al ser más biodisponibles que otras especies, pueden ser factores de eutrofización de los cuerpos de agua receptores.

Por otra parte según estudios realizados por Tucker et al (1996) demuestra que al dejar un cuerpo de agua en el estanque de cultivo de aproximadamente unos

7.5cm durante la cosecha se podría reducir la emisión de nitrógeno, fósforo y materia orgánica en un 70% y un 60% de esta reducción puede ser conservada si no se drenan los estanques entre cosechas por lo que se estarían emitiendo valores inferiores a los encontrados durante este proceso. Este hecho permite entonces nuevamente demostrar que en la actividad de la piscicultura el efluente de cosecha es el verdadero problema de esta actividad económica, siendo el verdadero factor de emisión la resuspensión de los sólidos los cuales se presentan por la alteración física del medio. Referenciándose en la figura 21 la concentración de ambos macronutrientes aumenta debido a que en el mismo caso de los sólidos se presenta una resuspensión la cual es evidente a la cuarta hora del proceso que es cuando se inicia el proceso de desagüe del estanque.

Figura 21. Comportamiento de macronutrientes en el proceso de cosecha.



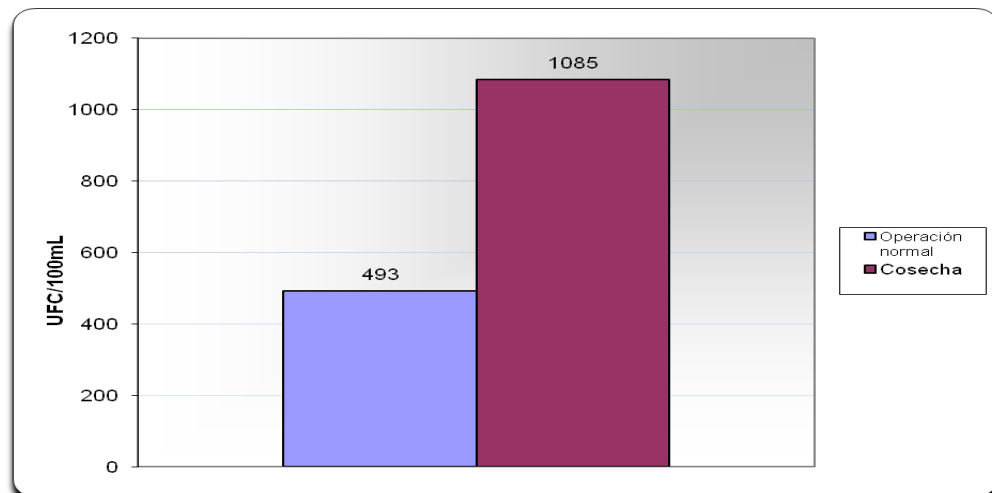
A pesar de ser los estanques en tierra sistemas únicos por su capacidad de asimilar y disminuir las concentraciones tanto de macronutrientes como de materia orgánica se puede también establecer que esta característica se debe a que al ser sistemas con velocidades de flujo bajas, la decantación de sólidos y materia orgánica dejan la contaminación del cuerpo de agua en el fondo del estanque por lo que se tiene que dejar pasar mucho tiempo para poder eliminar de manera real estos contaminantes y no ser resuspendidos cada 3 meses que es el tiempo que se realiza el proceso de cosecha en los estanques. Esta afirmación es respaldada por el estudio realizado en los efluentes de granjas de cultivo de bagre (*Ictalurus punctatus*) en Alabama (EPA, 2004) en donde las concentraciones de nitrógeno total y fosforo total son de 208.5 y 17.7 Ton/m<sup>2</sup>/año respectivamente para un drenaje anual y 75.1 y 7.2 ton/m<sup>2</sup>/año para nitrógeno y fosforo respectivamente en un drenaje realizado cada 6 años, por lo tanto el sistema puede llegar a ser autopurificador pero es necesario dejar cumplir los ciclos biogeoquímicos para llegar a cumplir con esta cualidad, aspecto que por el sistema implementado en la

piscícola de Pambío no se realiza y la emisión de macronutrientes hace presencia en su efluente.

#### 7.1.2.5 Coliformes

A pesar de que la operación normal aparentemente sirve como un tratamiento desinfectante por la naturaleza de los estanques, la emisión encontrada en el proceso de cosecha es de 2.2 veces el emitido en operación normal (figura 22), lo cual representa frente al RAS 2000 un impacto, ya que pasa de ser un agua de regular calidad (50 – 500 NMP/100MI) a ser un agua de calidad deficiente (500 – 5000 NMP/100MI).

Figura 9. Comparación de los valores promedio de coliformes fecales entre los procesos de cosecha y operación normal.



En época de cosecha los coliformes fecales presentes aumentan, hecho que podría ser posible ya que en este proceso se remueve el fondo del estanque y estos microorganismos son arrastrados en el efluente y entregados al cuerpo de agua receptor. Esta hipótesis tiene fundamento en el sentido en que a medida que se avanza en el proceso de cosecha, se aumenta en el número de unidades formadoras de colonias (UFC) encontradas en las muestras (ver tabla 6), ya que a medida que finaliza el proceso se encuentra una mayor concentración de lodos y por lo tanto una mayor concentración de estos microorganismos. Entonces nuevamente se establece el proceso de la cosecha como el momento puntual de contaminación por parte de esta actividad ya que la mayoría de los parámetros muestran proporciones elevadas en los aumentos de los valores, sin ser este la excepción a ese comportamiento general hasta ahora encontrado en la caracterización de los efluentes piscícolas.

## 7.2. PISCIFACTORIA EL DIVISO

En la piscifactoría El Diviso dos condiciones fueron evaluadas: el barrido de los lodos depositados en el fondo de los estanques (conocidos también con el nombre raceways) generados por el exceso de alimento y la producción de heces fecales, proceso que lo denominaremos como Mantenimiento, el cual se realiza con una frecuencia de 1 o 2 veces por semana. La segunda condición es la etapa de levantamiento y engorde, la que denominaremos Operación Normal. En la tabla 8 se presenta un resumen de los parámetros obtenidos en la Piscifactoría El Diviso. En el Anexo C se encuentran los datos discriminados por fecha de muestreo

Tabla 8. Resumen de los parámetros fisicoquímicos en operación normal de la Piscifactoría El Diviso.

### a. Afluente Planta 2

	CAUDAL	TEMP	DBO	DQO	Ph	TURBIEDAD	FOSFATOS	NITRATOS	SÓLIDOS SUSPENDIDOS	COLIFORMES
	(L/S)	(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(Und)	(NTU)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	UFC/100ml
<b>Promedio</b>	421,98	14,45	4,68	13,194		2,636	0,067	0,080	4,818	63,636
<b>Desviación</b>	3,52	0,52	0,89	3,629		0,809	0,020	0,027	2,523	23,884
<b>Máx.</b>	429,66	15	6,1	16,860	8,33	4,000	0,094	0,135	9	106
<b>Min</b>	418,03	14	3	6,778	7,03	1,000	0,015	0,056	1	27
<b>No Datos</b>	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

### b. Efluente Planta 2.

	CAUDAL	TEMP	DBO	DQO	Ph	TURBIEDAD	FOSFATOS	NITRATOS	SÓLIDOS SUSPENDIDOS	COLIFORMES
	(L/S)	(°C)	(mg/L)	(mg/L)	(Und)	(NTU)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	UFC/100ml
<b>Promedio</b>	418,13	14,5	5,836	13,423		4,000	0,095	0,092	6,818	56,182
<b>Desviación</b>	1,45	0,447	0,561	3,242		1,844	0,027	0,112	3,341	21,972
<b>Máx.</b>	420,26	15	6,2	16,860	8,190	9,000	0,137	0,410	12,000	83,000
<b>Min</b>	415,51	14	4,2	9,298	6,750	2,000	0,032	0,021	1,000	23,000
<b>No Datos</b>	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

## **7.2.1. Efluente de Operación Normal**

### **7.2.1.1. Caudal**

Las variaciones del caudal afluente al sistema de producción están en un orden del 2.7% lo cual es relativamente bajo, registrando un promedio de 421.98 L/s, mientras que en el efluente las variaciones son del 1.13% con un promedio de 418.13 L/s. La disminución de caudal en el efluente correspondiente a un 0.91 %, es decir, 3.98 L/s en promedio. El caudal que pasa por cada línea de producción está alrededor de 52.7 L/s en promedio.

Con base en el caudal en la línea y el volumen del estanque se estimó el recambio de agua, el cual se determinó en 3.5 min aproximadamente por raceway. Este valor parece ser un nivel alto, ya que según Blanco (1984), el recambio óptimo para la cría de trucha arco iris en estructura tipo raceway es de 5 a 6 recambios por hora, mientras que en planta 2 de El Diviso es de 17 aproximadamente, lo que significa que para la producción se garantiza el flujo de oxígeno disuelto que exige este tipo de cultivo super intensivo.

Por otro lado, algunos de los picos de caudal, se deben a que el día en que se hizo muestreo en la zona de ubicación de la planta, se presentaron lluvias las cuales aumentaron el caudal en el río que abastece a la piscifactoría y tuvo como efecto un incremento en la cantidad de agua a la entrada y salida de la piscifactoría.

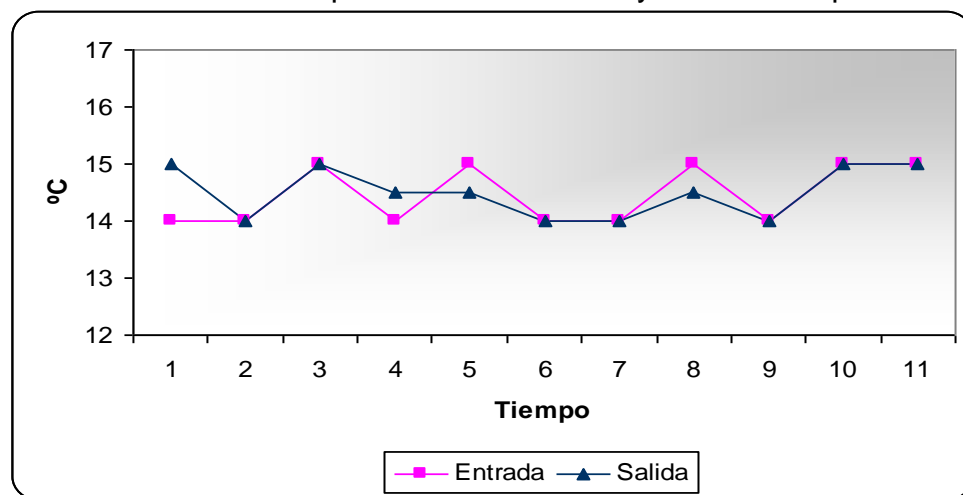
La velocidad de flujo promedio en los estanques se determinó con base en las dimensiones del mismo (0.9m de profundidad media de columna de agua y 2m de ancho), Esta velocidad es del orden de 0.03m/s la cual está por debajo de los límites (0.1 a 0.6m/s) recomendados por Breasen and Westers 1986 (citado por True et al 2004), para evitar la sedimentación de partículas dentro de la zona de cría del estanque, por lo cual se presume una alta sedimentabilidad de partículas dentro del estanque, especialmente en la zona de cría de los peces. Velocidades de flujo de 0.057, 0.050, 0.049 y 0.021 m/s, fueron reportados por True et al, 2004, en estanques operados en los Estados Unidos, confirmando la alta sedimentación de partículas que se presenta en la zona de cría.

### 7.2.1.2. Temperatura y pH

Los valores de pH y temperatura varían de tal forma que no impactan de forma negativa el cuerpo de agua, ya sea para el posible efecto sobre la biota acuática en el cuerpo de agua receptor, como para la producción de trucha en la piscifactoría. Esto debido a que para la producción de Trucha Arco Iris, se utiliza un sistema denominado FTS, (sus siglas en inglés: Flow Through System), el cual tiene un flujo de agua permanente que permite el constante recambio de agua en cada punto de los raceways, teniendo como efecto una fluctuación mínima en estos valores, con un promedio de 14.5 °C y una desviación de 0.52. Las variaciones de la temperatura con respecto al tiempo se pueden ver en la figura 23.

Según Alvarado (1983) para valores de temperatura entre 12 a 17 °C, la trucha arco iris tiene un crecimiento óptimo para fines comerciales. En la piscifactoría El Diviso las temperaturas en el afluente y efluente entran en este rango, registrando temperaturas entre 14. y 15 °C tanto a la entrada y como a la salida, por lo que no se presentan problemas con este parámetro para el proceso productivo, y además, el impacto en el cuerpo de agua receptor probablemente sea mínimo respecto a este componente.

Figura 23. Variación de la temperatura a la entrada y salida de la planta 2.



Finalmente, el efecto del proceso productivo no cambia el patrón de comportamiento de la temperatura en el cuerpo de agua utilizado.



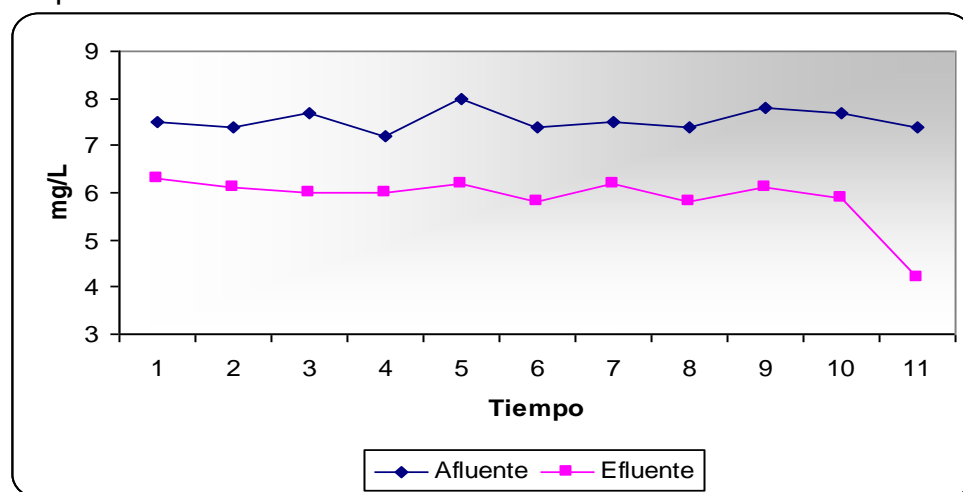
Por otro lado, los valores de Ph se encuentran en el rango de 7.03 y 8.19 a la entrada y de 6.75 y 8.19 a la salida de Planta 2, fluctuaciones que no afectan negativamente el cuerpo de agua ni al proceso productivo, ya los valores están en el rango de neutralidad.

### 7.2.1.3. Oxígeno Disuelto

Como era de esperarse, las concentraciones de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua fueron mayores a la entrada de la planta 2 en todo el tiempo de estudio, con un valor promedio del afluente de 7.56 mg/L y de 5.8 mg/L en el efluente, teniendo como resultado una fluctuación del 23.2%, lo que es relativamente bajo para este parámetro. En la figura 24 se pueden apreciar las variaciones que tuvo el OD a la entrada y a la salida de la planta 2.

Según Alvarado (1983), concentraciones de OD en un rango de 8 a 9 mg/L se considera un agua excelente para cultivo de trucha, y de 6.5 a 7 mg/L se considera un agua aceptable para este fin. Los datos obtenidos en la planta 2 de la Piscifactoría El Diviso muestran que las concentraciones de OD siempre estuvieron en el rango de excelente y aceptable, concretando esta afirmación con el promedio, el cual califica este tipo de agua como excelente.

Figura 24. Comportamiento del Oxígeno Disuelto en el afluente y efluente de la planta 2 de El Diviso.



Por otro lado, los valores obtenidos en el efluente se califican como aceptables para cultivo de esta especie en promedio, teniendo su valor mínimo (4.2 mg/L) en

el rango de agua crítica para cultivo, pero en este punto el agua ya no se utiliza para este fin, y se transporta al cuerpo de agua receptora, donde por efectos físicos de aireación probablemente llegue con una mayor concentración de OD al río receptor.

#### 7.2.1.4. Materia Orgánica

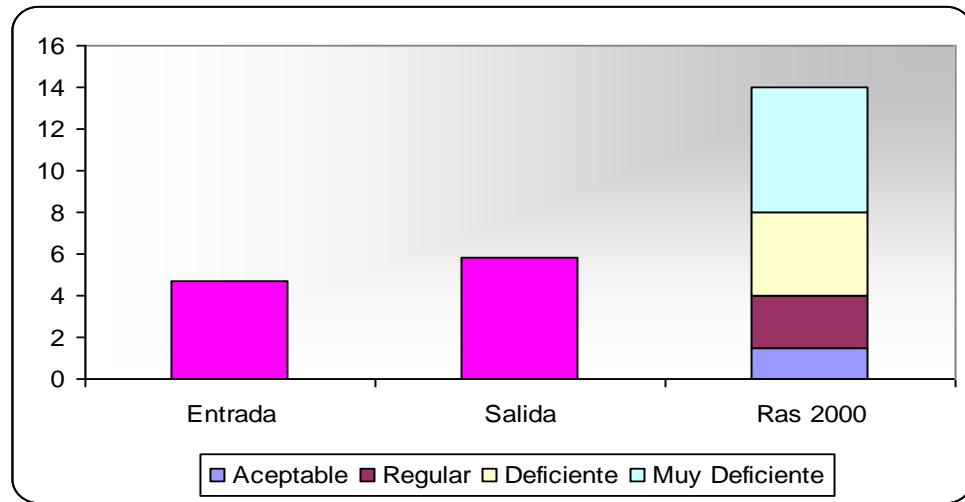
Los valores promedio de DBO<sub>5</sub> a la entrada y salida son de 4.68 y 5.83 mg/L respectivamente. En este sentido la DBO<sub>5</sub> de entrada indica una contaminación orgánica moderada en la fuente superficial utilizada, sin embargo, hay que tener en cuenta que el agua que llega a planta 2 proviene del proceso que se realiza en planta 1 donde seguramente el agua pierde su calidad, llevando esto a una explicación de estos valores.

Las fluctuaciones de la DBO<sub>5</sub> en el proceso normal de producción de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en la piscifactoría El Diviso varían en un orden del 20% en promedio aproximadamente, teniendo una tendencia de mayor valor a la salida de la planta con excepción de las dos últimas muestras, donde la DBO es ligeramente mayor a la entrada que a la salida, lo que puede estar indicado que el estanque puede estar removiendo materia orgánica, posiblemente de tipo particulada dadas las bajas velocidades de sedimentación que se presentan en el estanque.

En un cultivo de Barbo (*Ictalurus punctatus*) en los Estados Unidos, las concentraciones de materia orgánica, medida en DBO, dieron como resultado concentraciones de 14.9, 23.6, 11, 12.8 mg/L en primavera, verano, otoño e invierno respectivamente en promedio (Tucker *et al*, 1996), todas estas mayores que el promedio producido en la piscifactoría El Diviso, cuyo valor es de 5.84 mg/L. Lin (2002) reporta datos de DBO para un cultivo de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*) de  $5.0 \pm 2.3$  mg/L en efluentes provenientes de este proceso, los cuales están dentro del rango presentado en El Diviso.

Sin embargo, en términos de agua potable, los valores sobrepasan los límites permitidos para un posible consumo humano, clasificándose según la norma RAS 2000 y el decreto 475 de 1998, como una fuente deficiente en promedio. Es decir, el proceso productivo en términos de materia orgánica afecta de manera perentoria el recurso hídrico para uso humano. En la figura 25 se comparan los datos de entrada y salida de la planta 2 con los parámetros establecidos por la norma RAS 2000 para clasificar el nivel de calidad de una fuente de agua.

Figura 10. Comparación de la DBO con la norma Ras 2000.



No obstante, el factor de dilución que ejerce el río receptor a este efluente probablemente disminuya esta concentración de tal modo que con un tratamiento simple para agua potable, esta fuente sirva para consumo humano en poblaciones establecidas aguas debajo de la ubicación de la Piscifactoría El Diviso.

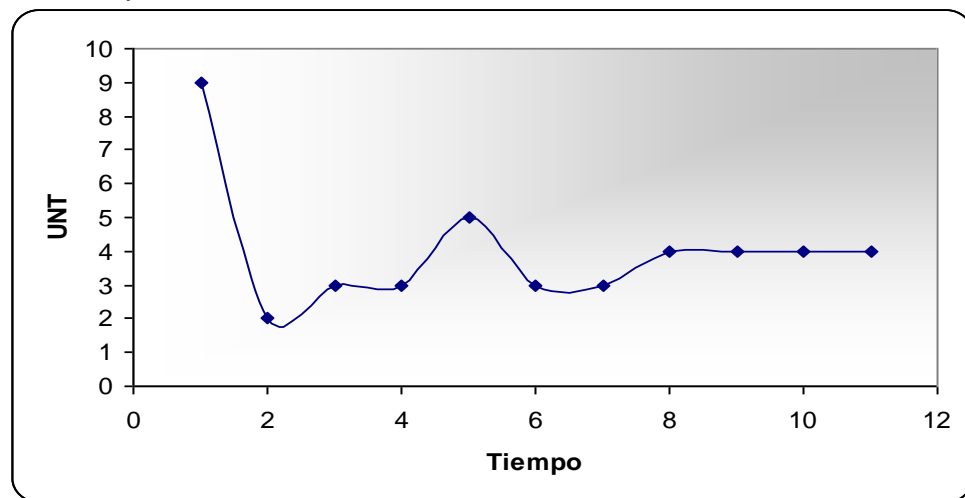
#### 7.2.1.5. Sólidos

En el caso de los Sólidos Suspendedos, la concentración promedio en el efluente esta en el orden de 6.81 mg/L, 30% mas que el afluente a planta 2, esto debido a que según Summerfelt et al (1999) (Citado por Stewart, 2006), el 50% o más del alimento suministrado puede resultar en un alto desperdicio, en sólidos suspendidos que se acumulan en los raceways y corriente abajo. Además, hay que tener en cuenta que el afluente de planta 2 proviene del proceso que se realiza en la planta 1 la cual ya viene con un grado de contaminación. En un estudio realizado en Malasia, resultados de Sólidos Suspendedos de un efluente residual proveniente de una piscícola perteneciente al Institute Aquaculture & Tropical, KUSTEM, fueron alrededor de 2.60 mg/L (Ali, 2005), es decir, El Diviso supera a Kustem en un 61.8%. En Idaho (EUA), concentraciones de SST dieron alrededor de 5 mg/L en el agua de no mantenimiento (True et al, 2004), siendo un 26% menos que el presentado en El Diviso, lo que representa que los valores obtenidos no varían mucho de los que normalmente se presentan en un sistema FTS.

En el cultivo de Barbo (*Ictalurus punctatus*) en los Estados Unidos, concentraciones de Sólidos Suspendedos en las diferentes estaciones climáticas registraron: 129, 122, 87, 101 mg/L en primavera, verano, otoño e invierno (Tucker et al, 2003), todos muy por encima de los valores presentados en El Diviso. En la producción de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), Lin (2003) reporta datos de SST de 36 mg/L, 81% mas alto que lo reportado en El Diviso. Boardman et al. (1998) (Citado por la EPA, 2004) en un estudio realizado a tres sistemas FTS donde se cultivaba trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) reporta datos de SST de 3.2, 3.9 y 6.1 mg/L de efluentes en promedio; estando estos valores en el rango presentado en El Diviso.

Las fluctuaciones de turbiedad del efluente en operación normal no son muy grandes, tiendo como valor máximo 9 UNT, y un valor mínimo de 3 UNT, lo que representa una diferencia del 66%. El comportamiento de la turbiedad en el tiempo se puede ver en la figura 26 donde a pesar del valor alto en el primer muestreo, los valores tienen una tendencia similar en todo el tiempo de estudio, teniendo como resultado un promedio de 4.0 UNT.

Figura 26. Comportamiento de la turbiedad en Efluente de la Planta 2 en El Diviso.



El pico máximo concuerda con el valor más alto de Sólidos Suspendedos presentado el mismo día, debido a que antes de tomar muestra, se presentó una precipitación en el área de estudio lo que produjo un aumento en la concentración los sólidos suspendidos en el cuerpo de agua que abastece a la piscifactoría y recíprocamente al agua de salida.

#### 7.2.1.6. Nutrientes

Las concentraciones promedio de  $\text{NO}_3$  son de 0.08 y 0.09 mg/L a la entrada y salida respectivamente, generando poco incremento en este parámetro. Sin embargo, esto no significa que la cantidad de nitrógeno en el efluente sea baja. Una baja concentración de  $\text{NO}_3$  puede indicar que el proceso de nitrificación no se alcanza a completar en la estación, probablemente por los bajos tiempos de retención que se presentan en los estanques. Estos valores de nitritos obtenidos en El Diviso parecieran ser bajos comparados con los reportados por Reding *et al* (1997) en una piscícola productora de Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) en el Reino Unido, las cuales fueron del orden de 5.4 mg/L (Ver Tabla 9).

Tabla 9. Concentración de Fosfatos, Nitratos y Oxígeno Disuelto en cultivo de Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) en el Reino Unido.

<b>PO<sub>4</sub></b> mg/L	<b>NO<sub>3</sub></b> mg/L	<b>OD</b> mg/L	<b>Ph</b>	<b>Temp.</b> °C
4,63	5,4	6,7	7,3 – 8,0	21,8 – 24,3

Fuente: T. Reding *et al.* , 1997

Una explicación para esto puede ser que el Nitrógeno se encuentre como Ion amonio ( $\text{NH}_3$ ), debido a que estudios realizados en granjas pesqueras en Sur Tuscany Italia, concluyeron que la concentración de los compuestos del nitrógeno se caracterizó por la presencia de una cantidad particularmente grande de ion del amonio en las estaciones estudiadas, probando recíprocamente, que la presencia de nitritos y nitratos era muy baja. (Porrello S. *et al*, 2002). En este mismo sentido, sólidos sedimentables en instalaciones de trucha contienen 30 a 80% del fósforo efluente y de 15 a 32% del nitrógeno total en el efluente (Heinen et al, 1996; Foy y Rosell, 1991; Bergheim et al, 1993; citado por Stewart, 2006).

Las concentraciones de fosfatos ( $\text{PO}_4$ ) están en la misma tendencia de los nitratos, ya que sus concentraciones no exceden valores como lo hacen otros procesos productivos. El Diviso registró una concentración promedio de 0.09 mg/L, en cambio, por ejemplo en la producción de Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) en el Reino Unido, la concentración de Fosfatos es de 4.63 mg/L (Reding et al, 1997), en producción de la especie íctica *Chanos chanos* en Taiwán varían según las estaciones que se presentan en el lugar, teniendo valores: 2.39, 10.45, 8.57 y

5.19 mg/L (Lin Y.-F., 2001), todas muy por encima del valor promedio presentado en El Diviso, es más, mayor que el valor máximo que fue de 0.14 mg/L.

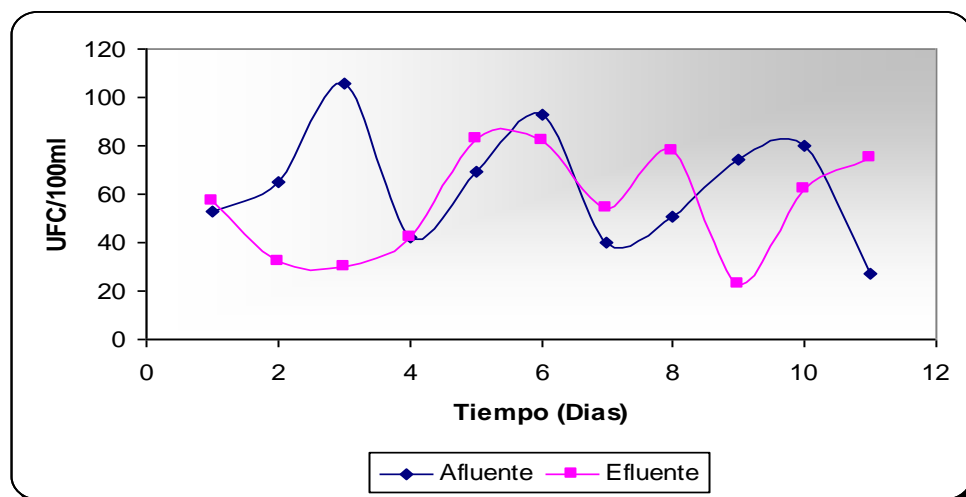
Por otro lado, en Idaho (EUA), el cual cuenta con el 70% de la producción de Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*), las descargas de P actualmente tienen niveles de 0.036 a 0.086 mg/L (Trae et al, 2004), donde el Diviso entra en el mismo rango que se produce en los Estados Unidos.

Con estos datos se puede inferir que el grado de contaminación respecto a los macronutrientes en el proceso normal de la Piscifactoría El Diviso no es de gran impacto, ya que interpretando los datos, se podría decir que la concentración de fosfatos y nitratos en el cuerpo de agua efluente es muy diluida debido al gran caudal que maneja (418 L/s), siendo esto un claro indicio de que existe una baja posibilidad que en operación normal, este efluente, al menos en forma de nitratos, eutrofice el cuerpo de agua receptor, es decir, el río Las Piedras.

#### 7.2.1.7. Microorganismos

El promedio de Coliformes a la entrada y salida fue de 63 y 56.2 UFC/100ml. Un análisis estadístico de varianza con un nivel de significancia  $\alpha=0.05$  mostró que no existen diferencias significativas entre estos promedios, lo cual indica que el proceso de producción no afecta la concentración efluente de este parámetro.

Figura 27. Variación de Coliformes Fecales en Planta 2.



A diferencia de los estanques de comportamiento léntico que se presentan en Pambío donde el agua tiene un tiempo de retención mayor en los estanques, significando esto una mayor exposición del agua con el sol y provocando así un

tratamiento fotocatalítico, en los raceways de El Diviso no se exhibe ese fenómeno de desinfección, ya que la naturaleza de la producción de trucha no permite este procedimiento debido al constante intercambio de agua, lo que no permite la disminución de este tipo de microorganismos en el cuerpo de agua.

## 7.2.2. Mantenimiento en El Diviso

El proceso de mantenimiento consiste en la limpieza periódica realizada una o dos veces por semana al estanque, en la cual los sólidos depositados en la zona de cría de los peces son barridos y llevados al extremo final del estanque (zona de sedimentación), de donde son extraídos, mediante una purga, que toma un tiempo de aproximadamente 10 segundos.

En la tabla 10 se presentan los datos de la caracterización realizada al efluente del barrido.

A partir de la tabla 10 es claro como el caudal y los demás parámetros de calidad de agua aumentan considerablemente para diferentes momentos del mantenimiento. Estos incrementos coinciden con los reportado por Hinshaw y Fornshell, 2002; Kendra, 1991 (Citado por EPA, 2004) quienes indican que los niveles de residuos acumulados en los estanques pueden generar efluentes con altas cargas en eventos de limpieza.

Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos en el mantenimiento en la Piscifactoría El Diviso.

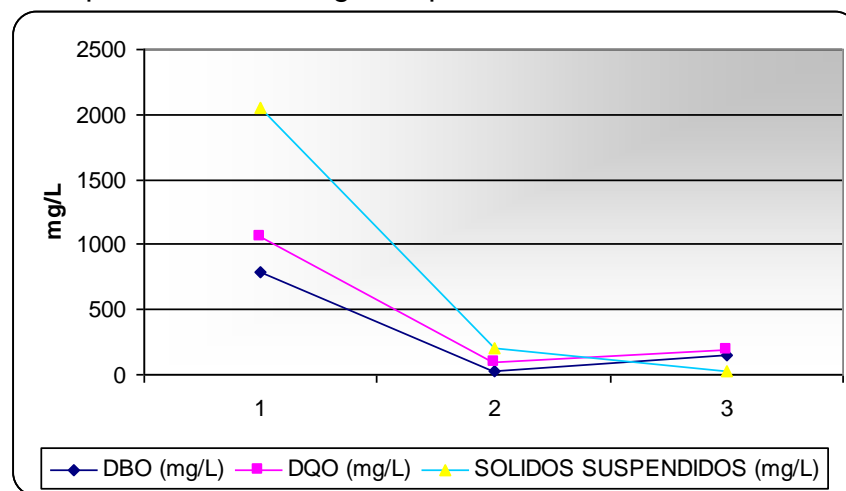
Tiempo	CAUDAL	TEMP	DBO	DQO	Ph	TURBIEDAD	FOSFATOS	NITRATOS	SOLIDOS SUSPENDIDOS	COLIFORMES
(min)	(L/S)	(°C)	(mg/L)	(mg/L)		(NTU)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	UFC/100ml
0	21,96	15	793,8	1060,36	6,21	598	0,366	0,356	2050	>1E4
10	1,48	15	29,4	97,52	6,98	79	0,400	0,347	210	9900
20	0,22	15	147	193,30	7,37	26	0,514	0,110	30	4300

Se puede apreciar que en el barrido de los raceways, el agua toma una clasificación de agua residual industrial, ya que sus valores exceden los parámetros normales de comparación con agua potable, consumo humano y de agua residual doméstica. La concentración de Sólidos Suspendidos en agua residual de producción de peces es alrededor de 1000 mg/L según estudios hechos en una piscícola comercial productora de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en los Estados Unidos (Ebeling *et al*, 2005). En este mismo estudio, se encuentran concentraciones promedio de 548 mg/L de DBO, 38.8 mg/L de NO<sub>3</sub>, y

de 7.43 unidades de Ph. (Ebeling *et al*, 2005). Chen (1996) (Citado por USEPA, 2004) reporta una DBO promedio de 2756 mg/L en una caracterización de lodos provenientes de un sistema de un sistema de recirculación en la producción de peces en los Estados Unidos.

Los datos de mantenimiento y barrido en la Piscifactoría El Diviso no difieren mucho, ya que se presentan concentraciones de 793 mg/L de DBO, 2050 mg/L de Sólidos Suspendingidos. La figura 28 presenta el comportamiento de la DBO, DQO y Sólidos Suspendingidos en el momento del barrido de los raceways.

Figura 28. Comportamiento de algunos parámetros en el barrido de raceways.



Es claro como los valores son altos en el comienzo del barrido, cuando esta concentrada la mayor parte de lodo sedimentado en el fondo de los estanques o raceways. En la primera toma, los valores de absolutamente todos los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos son altos. Después de 10 minutos, las concentraciones disminuyen en 96% en la DBO, 91% en la DQO y 91% en los SST. A los 20 minutos, los parámetros tienen una tendencia a aumentar, debido quizás a que el caudal en este momento es demasiado bajo respecto a los puntos anteriores, registrando 0.22 L/s, casi 100 veces menor a la primera toma.

El índice de biodegradabilidad del agua residual producida en el mantenimiento de los raceways en El Diviso es de 0.75, lo que significa que este tipo de agua es de fácil tratamiento y de fácil remoción de materia orgánica, lo que se traduce en la posibilidad de implementación de tecnologías con procesos naturales que facilitarían los costos tanto de inversión inicial como de operación y mantenimiento.



El efluente obtenido en el proceso de barrido, se le realizó una prueba de sedimentabilidad con base en turbiedad. La curva de sedimentación se presenta en la figura 29. Esta muestra que con velocidades bajas se pueden alcanzar eficiencias de remoción altas, como se determinó en la tabla 11. Esto permite suponer que este efluente presenta una gran facilidad para usar el proceso de sedimentación como alternativa para el tratamiento

Figura 29. Curva de sedimentabilidad proceso de Barrido El Diviso.

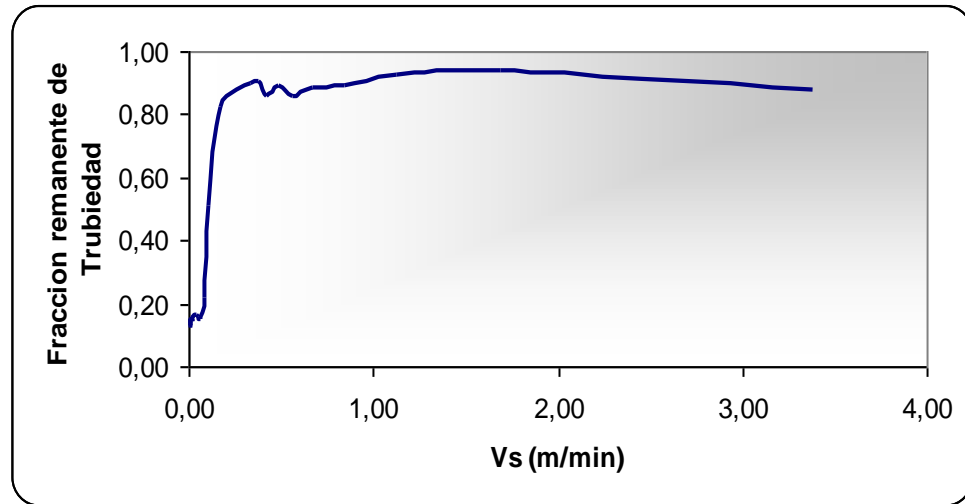


Tabla 11. Porcentajes de Remoción y Velocidades Críticas de Sedimentación en El Diviso.

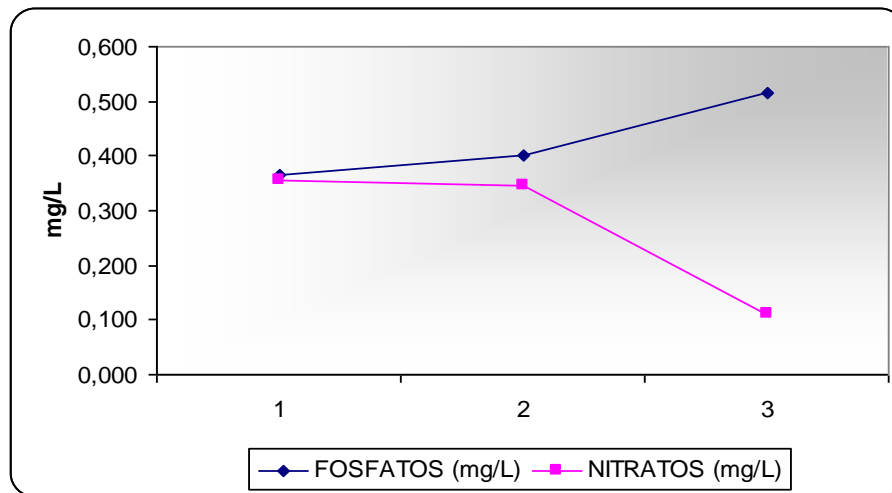
Vsc (m/min)	RT
1,50	0,15
1,00	0,18
0,50	0,28
0,20	0,55
0,12	0,76
0,11	0,79
0,10	0,82
0,09	0,84
0,08	0,86
0,07	0,87

Las velocidades de sedimentación encontradas están en el rango de 0.07 a 1.5 m/min, los cuales son muy similares a los reportado por True et al (2004), en estanques de producción de trucha en Estados Unidos los cuales fueron de 1.39

m/min y 0.096 m/min para partículas grandes y pequeñas respectivamente. La turbiedad inicial de la prueba fue de 997 UNT. Para alcanzar una remoción del orden de 80% en la turbiedad, se requerirá una velocidad crítica de sedimentación teórica del orden 0.10 m/min, la cual corresponde a una carga superficial de aproximadamente 110 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día (considerando un factor de seguridad de 1.3), que es mucho mas alta de las usualmente recomendadas para sedimentares tipo I (20 -30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*día), lo cual indica su alta posibilidad de ser removida y espesado usando el proceso de sedimentación.

Los valores de Nitratos (NO<sub>3</sub>) y Fosfatos (PO<sub>4</sub>) aumentaron en un 75% respecto a la operación normal de la planta 2. El comportamiento de estos parámetros varía de forma opuesta, ya que mientras la concentración de nitratos disminuye en el tiempo, recíprocamente, la concentración de fosfatos aumenta (ver figura 37). En un estudio de lodos generados en una piscícola productora de trucha arco iris en los Estados Unidos, valores de nitratos fueron 75% menores a los registrados por los fosfatos. (Stewart *et al*, 2006). La diferencia entre las concentraciones de nitratos y fosfatos al final del proceso de barrido en El Diviso es de 78.5%. (Ver figura 30)

Figura 11. Comportamiento de nitratos y fosfatos del mantenimiento en El Diviso.



Microbiológicamente, el efluente presenta valores de 9900 a más de 1E 4 UFC/100 ml, los cuales se consideran elevados que permiten afirmar que es una agua de alto riesgo microbiológico. Además por observación directa, se presentaron Tubiflex junto con malos olores y condiciones organolépticas deficientes.

Las características fisicoquímicas y microbiológicas del efluente del Diviso no presentan grandes problemas en su operación normal, ya que en comparación

con otros procesos productivos de peces como de otros productos, no sobrepasa estas cantidades. En cambio, en el proceso de mantenimiento, los valores de los parámetros medidos aumentan en grandes porcentajes, los cuales impactan de forma negativa el recurso hídrico, llevando a una degradación y eutrofización del cuerpo de agua receptora.

Para finalizar, con este trabajo se trató de demostrar que en la operación normal en las diferentes piscícolas no se generan grandes cantidades de contaminación, y caso contrario, se presenta en la cosecha en Pambío y mantenimiento en El Diviso, que debido a actividades inherentes a los procesos, se presentan altas concentraciones de materia orgánica y sólidos suspendidos, acompañado con carga microbiológica, particularmente, coliformes fecales.

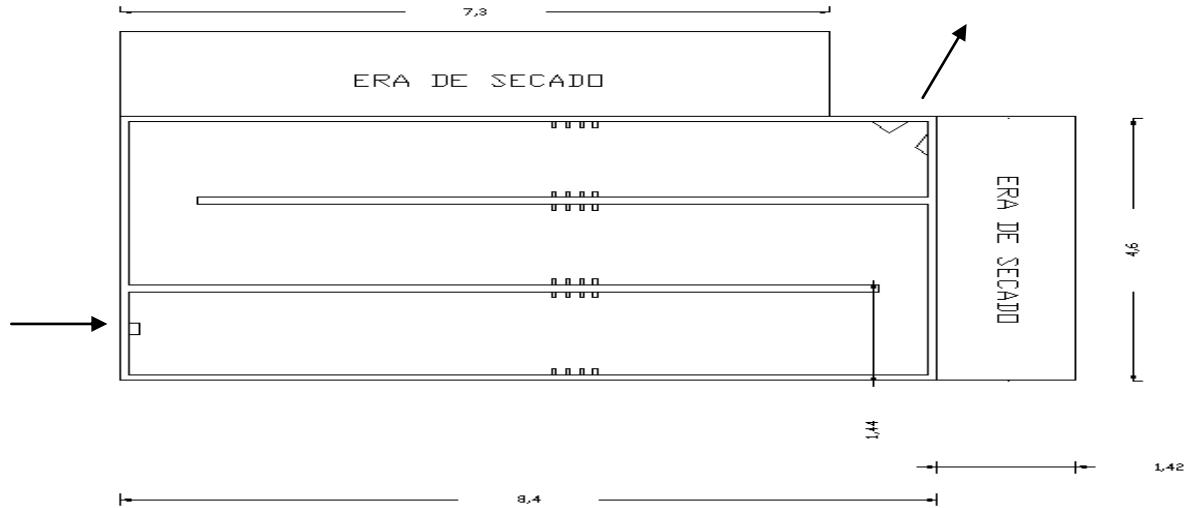
### **7.3. EVALUACIÓN DEL SEDIMENTADOR**

Debido a los residuos generados en el proceso de producción de carne de Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) en la Piscifactoría El Diviso, incorporados en el cuerpo de agua en el mantenimiento de los raceways, se proyectó un sistema de tratamiento, el cual consiste en una serie de sedimentadores, con los cuales se pretende disminuir la carga de SST y materia orgánica inherente a los sólidos. Los sedimentadores reciben los efluentes de lavado de los estanques, tanto en el momento de barrido, como en el lavado de toda la unidad, cuando los peces han sido extraídos.

En este trabajo se evaluó un sedimentador ubicado en la Planta 2 de la piscifactoría; se midió la cantidad y la calidad del agua que entraba y salía del mismo durante el lavado total de una unidad, la cual se considera la situación mas crítica debido a la cantidad de agua evacuada y a la carga de sólidos que puede presentar.

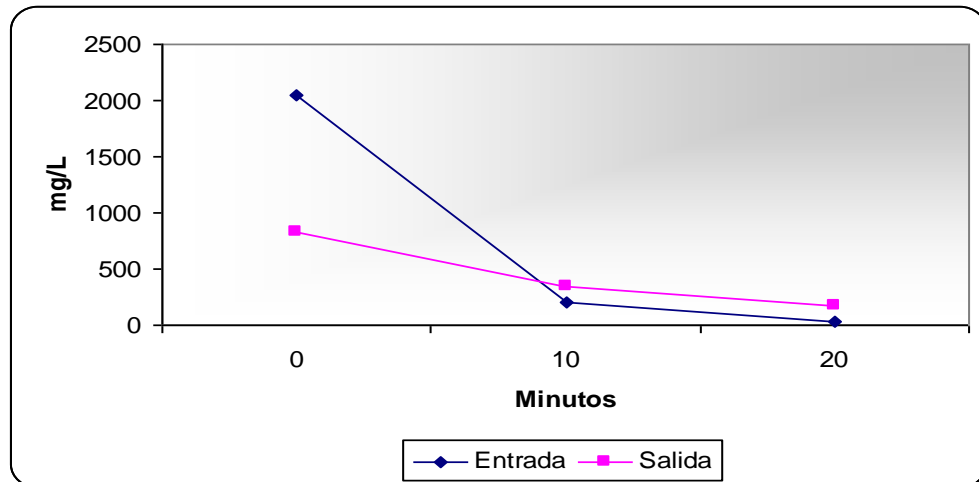
El área superficial de sedimentación neta es de 36.37 m<sup>2</sup>, componiéndose por una serie de dos tabiques combinados con filtros de fique o cabuya. Junto al sedimentador se han dispuestos dos lechos de secado de lodos, con áreas de 10.8 y 6.65 m<sup>2</sup> cada uno. Los lodos son extraídos del fondo del sedimentador mediante palas (extracción manual), se disponen en los lechos y el exceso de agua escurre por medio un drenaje que conduce esta agua de nuevo al sedimentador. Un esquema general del sedimentador se puede ver en la figura 31

Figura 31. Sedimentador Evaluado en Planta 2.



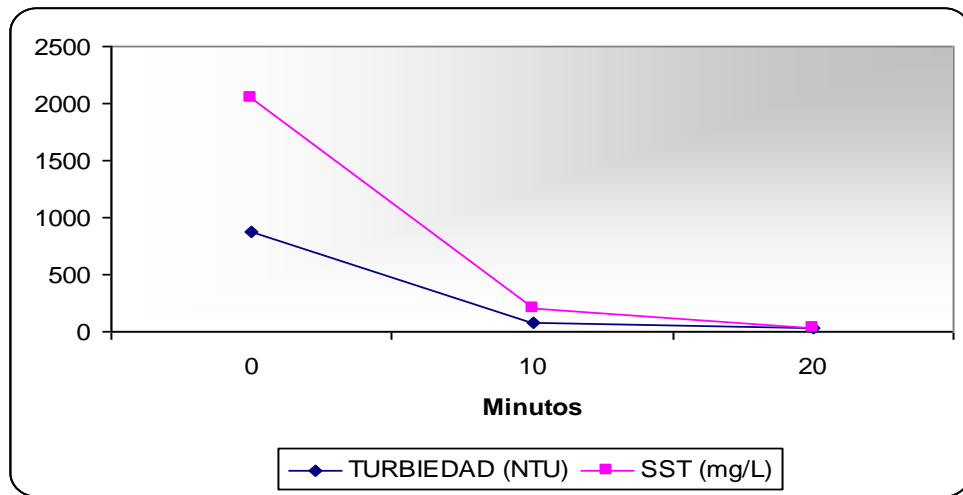
Al inicio del proceso de barrido de los raceways, los valores de sólidos suspendidos son altos, registrando valores de 2050 mg/L. Luego de 20 minutos el valor a la entrada disminuye hasta 30 mg/L, valor que explica el fin del proceso de mantenimiento o purga de los lodos de los raceways. La concentración a la salida del sedimentador en el inicio del mantenimiento presenta un valor de 830 mg/L, significando que en este momento, el cual es el más crítico, se tiene una eficiencia del 59 % en la remoción de este parámetro. La eficiencia real de remoción en promedio es del 41%.

Figura 12. Comportamiento de los SS a la entrada y salida del sedimentador.



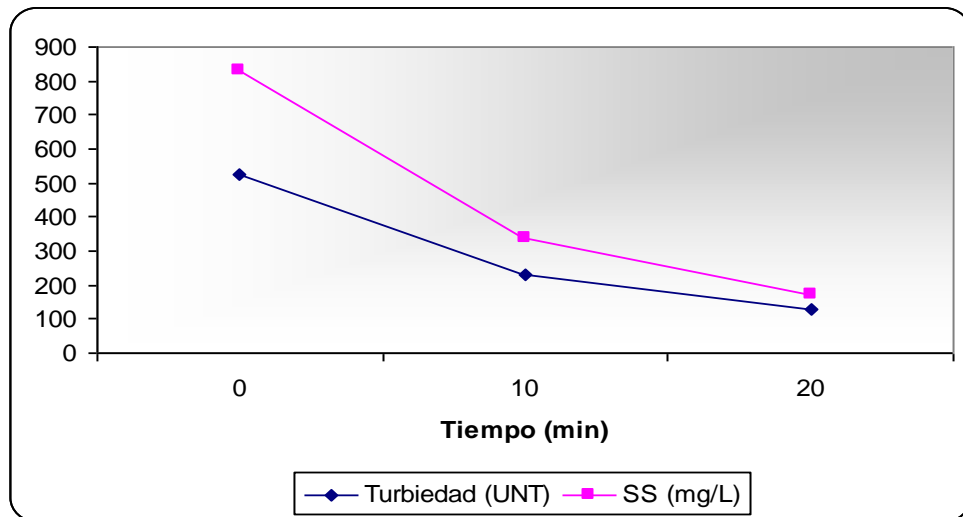
En este mismo sentido, la turbiedad tiene el mismo comportamiento de los SST. En las figura 33 se puede ver la similitud y la manera que los datos se correlacionan a la entrada y del sedimentador

Figura 13. Comportamiento de la turbiedad y los SS a la entrada del sedimentador.



Es claro como la concentración de SS y turbiedad guardan una correlación y tendencia que muestran como es llevado acabo el mantenimiento de los raceways. Básicamente, la mayor cantidad de SST se evacua de los raceways en menos de 10 minutos, ya que fluyen a un caudal de 21.96 L/s.

Figura 14. Comportamiento de la turbiedad y los SS a la salida del sedimentador.



La carga superficial teórica, entendida como el caudal sobre el área superficial de sedimentación, para este sedimentador es de  $0.036 \text{ m}^3/\text{min. m}^2$ . Interpolando este valor en el curva de sedimentabilidad de la figura 34, se obtiene una fracción remanente de 0.122, lo que equivale a 121.63 UNT. Teóricamente, el sedimentador debería tener una eficiencia del 86% en la remoción de la Turbiedad, teniendo en cuenta que la turbidez inicial es de 875 UNT. La eficiencia real que arroja el sedimentador es de apenas el 40% en la remoción de turbiedad, es decir un 46% menos de lo que debería remover teóricamente el sedimentador. Además, hay que agregar que a este sedimentador se le añadió un filtro en fique o cabuya para un mejor su desempeño, lo que significa que la eficiencia de esta operación sin la puesta del filtro probablemente sea mucho menor a la obtenida en el trabajo de campo.

Una causa del irregular desempeño del sedimentador en su función de remover SST podría ser debida a un ineficiente comportamiento hidráulico, generado por inadecuadas estructuras de entrada y salida, a la falta de una zona de almacenamiento y retención de lodo, además de fugas por grietas en los tabiques.

En ese mismo sentido, habría que evaluar y considerar otros métodos para la evacuación de los lodos del sedimentador hacia los lechos de secado, ya que el procedimiento utilizado en la piscifactoría es laborioso además de generar un impacto visual negativo, y lo que se pretende es tener procedimientos limpios dentro de cualquier empresa, y sobre todo en una empresa de alimentos, para tener buena imagen frente a la sociedad. Sería importante hacer una caracterización profunda a los lodos para determinar su posible uso en diferentes ramas de la agricultura.

Por otro lado, los valores de DBO, macronutrientes y coliformes fecales son demasiado altos a la salida del sedimentador. La remoción de DBO es del 30%, pero aun así este valor sigue siendo muy alto; 587 mg/L. los datos reportados para fosfatos y nitratos en la evaluación del sedimentador no varían después de realizar esta operación, lógicamente porque este proceso no remueve nutrientes del cuerpo de agua, así como para los coliformes, los cuales reportan valores por encima de  $1E4 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$ .

## 8. CONCLUSIONES

- En el proceso de levante y engorde de Tilapia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) el efluente presenta un grado de contaminación bajo durante su operación normal. Contrario a la operación normal, el proceso de cosecha en Pambío presenta incrementos en todos los parámetros fisicoquímicos evaluados, lo cual permite establecer este proceso como el punto crítico de contaminación en la productividad piscícola que maneja estanques en tierra.
- Las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos medidos en el efluente de producción de Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*), debido al gran flujo de agua que se maneja en el proceso de operación normal, se encuentran diluidas por lo cual la alta dilución de los contaminantes hace que su tratamiento sea complejo, sin embargo, las cargas mensuales estimadas en sólidos suspendidos y materia orgánica está en el orden de 4.53 ton/mes y 5.07 ton/mes respectivamente. Además se presenta un momento crítico de contaminación el cual obedece al proceso de barrido y limpieza denominado como mantenimiento de los estanques elevando los parámetros establecidos.
- El sedimentador evaluado presenta un desempeño irregular (41% de eficiencia), posiblemente debido a un deficiente funcionamiento hidráulico, causado a su vez por limitaciones de diseño y constructivas.

## 9. RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema de tratamiento primario en la estación piscícola de Pambío el cual podría ser un filtro en grava dada la baja sedimentabilidad de las partículas de materia orgánica y nutrientes presentes en el efluente de cosecha los cuales dificultan su tratamiento en su fase sólida mediante el uso de sedimentadores convencionales.
- Para la estación piscícola de Pambío, es necesario optimizar el proceso de cosecha; una de las posibles mejoras sería aislar o impermeabilizar el suelo de los estanques mediante la utilización de un plástico de alto calibre. Este tipo de solución significa una mayor inversión en un proyecto piscícola pero se evitaría parcialmente la alta tasa de emisiones de sólidos suspendidos durante la cosecha.
- En la Piscifactoría El Diviso se recomienda hacer una optimización de la infraestructura que compone los sedimentadores que permita aumentar su eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos, los cuales presentan una alta sedimentabilidad en el proceso de mantenimiento. En este sentido podría ser conveniente incluir: una zona de almacenamiento de lodo, una estructura de entrada y salida, además de establecer la conveniencia de eliminar los tabiques y los filtros de fique utilizados en medio de los tabiques.
- Sería necesario implementar un tratamiento secundario para remover materia orgánica y macronutrientes del efluente causado por el mantenimiento en El Diviso con el fin de reducir costos de tasa retributivas causadas por la emisión de DBO y SST, además de evitar impactos negativos al cuerpo de agua receptor (Río Las Piedras). Una alternativa de tratamiento por sus bajos costos y facilidad de mantenimiento podría ser un humedal artificial.
- Para llevar a cabo lo anterior, se recomienda medir parámetros como Nitrógeno Total, Nitrógeno amoniacal, Fósforo Total, para una adecuada selección de alternativa de tratamiento de los efluentes causados por la cosecha en la Piscícola de Pambío y el mantenimiento en la Piscifactoría El Diviso.



## BIBLIOGRAFIA

- Agrocadenas. La Cadena de la Piscicultura Bogotá D.C.: Anuario 2004.
- Aguilera M. La Mojana; riqueza natural y potencial económico. Documentos de Trabajo sobre economía Regional. Bogotá D.C.: Banco de la República. 2004.
- Alamilla H. Cultivo de Tilapia. México : Zoe Tecno-campo.. 2002.
- Ali N, *et al.* Treatment of aquaculture wastewater using ultra-low pressure asymmetric polyethersulfone (PES) Membrane. Malasia: Desalination Journal No 185 – 2005.
- Alvarado H, Bastardo H. Producción de Truchas en Venezuela. Caracas: FONAIAP. 1983.
- APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. EUA: 20ed. 2005.
- Argentina. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Información Resumida sobre Acuicultura Comercial: Mundial, Regional y Global: Perspectivas para el Nuevo Siglo. Buenos Aires. 2001.
- Beltran V. Perfil de la pesca y la acuicultura en Colombia. Bogotá D.C.: Instituto Nacional de Pesca y acuicultura INPA., Junio de 2000.
- Biblioteca de Consulta Microsoft Encarta 2005. Microsoft Corporation. USA. 1993 – 2004.
- Blanco M. La Trucha, Cria Industrial. Madrid: Editorial Mundi – Prensa. 1984.
- Boyd, C. E. Effluents from catfish ponds during fish harvest. J. Environ. Qual., 7. 1978, p. 59-62.
- Braga M., Integración de las funciones y servicios de los ecosistemas de agua dulce a los proyectos de desarrollo hídrico. Informe Técnico. Washington D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial. 2000.
- Colado M. “Acerca del cultivo de tilapia roja o del Nilo”. 2004 En: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/pesca/acuicultura/cultivo/Acerca%20del%20Cultivo%20de%20Tilapia%20Roja%20%20Del%20Nilo.pdf>

Colombia. Federación Colombiana De Acuicultores, Fedeacua. Diagnóstico Sectorial para el Cultivo de Tilapia y Cachama. 2001.

Colombia. IDEAM. El medio Ambiente en Colombia. Bogota: IDEAM 2001 2ed.

Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2005. Acuerdo de Competitividad de la Cadena de la Piscicultura en Colombia: en [www.agrocadenas.gov.co/piscicultura/documentos/Acuerdo\\_Piscicultura.pdf](http://www.agrocadenas.gov.co/piscicultura/documentos/Acuerdo_Piscicultura.pdf) Visitado Marzo de 2006

Colombia. Ministerio Del Medio Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. Guía para la implementación de reuso del agua en Colombia. Bogotá D.C.: 2004

Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes). Bogota D.C.: 2002. Documento 3177,

Costa Rica. Incopesca. Instituto Costarricense de Pesca y acuicultura. En: <http://www.infoagro.go.cr/incopesca/Acuicultura.htm>

Crites R., Tchobanoglous G., Tratamiento de Aguas Residuales en Poblaciones pequeñas. Bogotá D.C: Mc Graw Hill. 2000.

Ebeling M. *et al*, Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aquacultural effluents. Aquaculture Engineering No. 33 – 2005.

Espinal C; González F, Martínez H. La cadena de la piscicultura en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica 1991 – 2005. Bogotá D.C.: Ministerio de agricultura y desarrollo rural, observatorio agrocadenas. 2005.

Estados Unidos. Environmental Protection Agency. “Technical Development Document for the Final Effluent Limitations Guidelines and New Source Performance Standards for the Concentrated Aquatic Animal Production Point Source Category”. Washington D.C. 2004.

Hepher B, Pruginin Y. Cultivo de Peces Comerciales. México: Ed. Noriega Limusa. 1991.

Hussar G., Paradela A., Jonas T., Rodrigues J. Tratamiento da agua de escoamento de tanque de piscicultura através de leitos cultivados de vazao subsuperficial: analise da qualidade fisica e quimica. Brasil: 2005. Vol 2 N°1, p 46-59, Jan/Dez.

Kubitza. Qualidade da agua na producao de peixes. Brasil: 1999 3ª ed, Jundiai-SP, Divisao de biblioteca e documentacao –campus “Luiz de Queiroz”/usp.

LIN K, YI Y. Minimizing environmental impacts of freshwater aquaculture and reuse of pond effluents and mud. Elsevier 2003.

LIN Ying – Fen, *et al.* The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. Taiwan: Environmental Pollution Journal. No. 123 -2003.

LIN Ying–Feng, JING Shun-Ren, LEE Der-Yuan. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. Taiwan: Aquaculture Journal No 209 – 2002.

Mauna E. Guía del piscicultor. Popayán: CRC 2005.

Negrón G. Optimización de manejo y tecnologías sostenibles para el tratamiento y eliminación de afluentes de granjas piscícolas con énfasis en pantanos contruidos. World Aquaculture. Perú: Septiembre 2000 Vol 31 N° 3. reproducido por Boletín Nicovita Vol 5 Edición 01, Diciembre 2000.

Nicovita. Manual de Crianza. Tilapia. Perú: Alicorp. 2003.

Ojeda, E, *et. Al.* (2000): Informe Nacional Sobre La Gestion Del Agua En Colombia Recursos Hídricos, Agua Potable y Saneamiento. En: [www.censat.org/Documentos/Agua/Remendar\\_Agua.pdf](http://www.censat.org/Documentos/Agua/Remendar_Agua.pdf)

Palma R. 2004. Aprovechamiento de materia orgánica de efluentes de instalaciones de producción de salmones en pisciculturas, en el engorde de camarón de río del sur, *Samastacus spinifrons*, philippi 1882. Chile: tesis de grado Universidad Católica de Temuco.

Porrello S, *et al.* “Reduction of aquaculture wastewater eutrophication by phytotreatment ponds system I. Dissolved and particulate nitrogen and phosphorus”. Italia: Aquaculture Journal No 219 – 2003.

Reding T, Todd S. Midlen A. The Treatment of Aquaculture Wastewaters—A Botanical Approach. United Kingdom: University of Hull International Fisheries Institute. Journal of Environmental I No 50 – 1999.

Salazar G. El Cultivo de Organismos Acuáticos en Pequeña Escala en Colombia. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Mayo de 2002.

Sanz F. La Alimentación en Piscicultura. España: XVII Curso de Especialización FEDNA. 2003.

Sawyer C, McCarty P, Parkin G. Química para Ingeniería Ambiental. Bogotá D.C: Mc Graw Hill 2001.

Smith R, Smith T. Ecología. España: Addison Wesley. 2001.

Sotelo G. Mejoramiento de la Productividad de la Minicadena Piscícola del Departamento del Cauca. Colombia: CREPIC. 2006.

Stewart N, Boardman G, Helfrich L. Characterization of Nutrient leaching rates from settled rainbow trout (*Ocorhynchus Mykiss*) sludge. Aquaculture Engineering No 35 – 2006.

True B, Jonson W, Chen S . Reducing phosphorus discharge from flow-through aquaculture I: facility and effluent characterization. Aquaculture Engineering No 32 – 2004.

Tucker C, Hargreaves J. Management of effluents from channel catfish (*Ictalurus punctatus*) embankment ponds in the southeastern United States. Aquaculture Journal No 226. 2003.

Tucker C, Kingsbury S., Pote J., Wax C. Effects of water management practices on discharge of nutrients and organic matter from channel catfish (*Ictalurus punctatus*) ponds. Acuculture N° 147, 1996.

Velasco M, Lawrence A y Neill W. Efectos de la proteína y el fósforo dietario en la calidad de agua de acuicultura. México: UANL 2000.





## ANEXO B

Datos recolectados en la estación piscícola de Pambío durante el periodo de estudio en época de cosecha.

**FECHA:** AGOSTO 25 DE 2006

HORA	CAUDAL L/s	TEMP °C	DBO mg/L	DQO mg/L	Ph	Turbiedad NTU	FOSFATOS mg/L	NITRATOS mg/L	SOLIDOS SUSPENDIDOS mg/L	COLIFORMES UFC/100MI
11:00	1,89	19	2,3	4,26	7,08	25	0,0119	0,318	265	280
12:00	1,85	20	3,1	9,30	6,87	27,6	0,0119	0,274	80	470
13:00	1,74	20	2,2	4,26	6,81	30,1	0,0119	0,104	90	320
14:00	13,49	21	360,25	503,32	6,28	1054	0,0142	0,416	2040	1490
15:00	12,30	21,5	43,84	69,79	6,99	282	0,0339	0,435	1145	500
16:00	10,05	23	106,5	160,53	6,34	555	0,0322	0,353	3630	780
17:00	6,92	22	179,07	311,76	6,28	1620	0,0446	0,457	5210	3760







## ANEXO D

Tabla de parámetros fisicoquímicos en la evaluación de desempeño de sedimentador en la Piscifactoría El Diviso

<b>ENTRADA AL SEDIMENTADOR</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>CAUDAL</b>	<b>TEMP</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>Ph</b>	<b>TURBIEDAD</b>	<b>FOSFATOS</b>	<b>NITRATOS</b>	<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</b>	<b>COLIFORMES</b>
(min)	(L/S)	(°C)	(mg/L)	(mg/L)		(NTU)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	UFC/100ml
0	21,96	15	793,8	1060,36	6,21	875	0,366	0,356	2050	> 10 <sup>4</sup>
10	1,48	15	29,4	97,52	6,98	79	0,400	0,347	210	9900
20	0,22	15	147	193,30	7,37	26	0,514	0,110	30	4300
<b>SALIDA DEL SEDIMENTADOR</b>										
<b>Tiempo</b>	<b>CAUDAL</b>	<b>TEMP</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>Ph</b>	<b>TURBIEDAD</b>	<b>FOSFATOS</b>	<b>NITRATOS</b>	<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</b>	<b>COLIFORMES</b>
(min)	(L/S)	(°C)	(mg/L)	(mg/L)		(NTU)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	UFC/100ml
0	1,64	15	294,00	490,72	6,6	525	0,434	0,811	830	> 10 <sup>4</sup>
10	5,37	15	558,60	863,76	6,52	232	0,372	0,227	340	7100
20	3,91	15	88,20	306,72	6,61	127	0,449	0,239	170	6900

Fecha: Octubre 31 de 2006

## ANEXO E

### IMÁGENES DE LOS ESTANQUES UTILIZADOS EN EL CULTIVO DE PECES



Foto 1. Estanques implementados en la estación piscícola de Pambio.



Foto 2. Estanques implementados en la piscifactoría El Diviso.

IMÁGENES DEL SEDIMENTADOR IMPLEMENTADO EN LA PISCIFACTORIA EL DIVISO



Foto 3. Detalle frontal del sedimentador.



Foto 4. Detalle frontal del sedimentador.

## IMÁGENES DE LA COSECHA EN LA ESTACION PAMBIO



Foto 5. Recolección de individuos en la cámara de recolección.



Foto 6. Muestras de agua de la cosecha para cada hora del proceso (de izquierda a derecha).



Foto 7. Detalle del efluente en operación normal.



Foto 8. Detalle del efluente en operación de cosecha.



Foto 9. Encuentro Efluente piscícola en operación de cosecha y cuerpo de agua receptor.

## ANEXO F

Para los objetivos 1 y 2, las referencias de los procedimientos realizados en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil se relacionan a continuación.

Referencias de los procedimientos de laboratorio y muestreo.

<b>Parámetro</b>	<b>Referencia</b>	<b>Código</b>
DQO	Standard Methods - Colorimétrico	5220-B/2000
pH	pH-meter Metrohm 744	
DBO	Standard Methods - Volumétrico	5210-B/2001
SS	Standard Methods – Filtro whatman 934-AH	2540-B/1997
NO <sub>3</sub>	Standard Methods – Colorimétrico	4500/2000
PO <sub>4</sub>	Standard Methods – Cloruro Estañoso	4500-P/2000
Coliformes Fecales	Standard Methods - Filtro de Membrana	9222-B/1997
Turbiedad	Turbidimeter 2100P HACH	
Caudal	Equipo de Aforo AOTT Kempton. Con hélice No 5 y contador Z-30.	

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005