



**UNIVERSIDAD MICHUACANA DE  
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
SOBRE LOS RECURSOS NATURALES**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN LIMNOLOGÍA Y ACUICULTURA**

**"CARACTERIZACIÓN DE UNA PLANTA EXPERIMENTAL PILOTO  
PARA LA PRODUCCIÓN DE LARVAS Y JUVENILES DE PEZ BLANCO  
(*Chirostoma estor estor*)"**

**TESIS DE GRADO QUE PRESENTA**

**LÁZARO CRUZ AGUILAR**

**COMO REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN LIMNOLOGÍA Y ACUICULTURA**

**DIRECTOR: DR. CARLOS A. MARTÍNEZ PALACIOS**

**MORELIA, MICHUACÁN, MÉXICO. OCTUBRE 2006**

## AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a mi Director de Tesis Dr. Carlos A. Martínez Palacios, por su gran amistad, por sus valiosas observaciones y sugerencias realizadas durante este trabajo, así como su interés y disposición para formar parte de él.

Al Dr. Ilie S. Racotta Dimitrov, del CIBNOR-La Paz, por su amistad, asesoría, comentarios y observaciones para la revisión de este trabajo.

Al Dr. Eucario Gasca Leyva del CINVESTAV-Mérida, por su asesoría y aportaciones para este trabajo particularmente en la parte económica.

Al Dr. Antonio Campos Mendoza y a la Dra. Mayra Toledo Cuevas, por sus valiosos comentarios y asesoría para este trabajo.

A mi amiga Maru, por su amistad y consejos aportados en el transcurso de nuestra preparación académica.

A mis compañeros del INIRENA especialmente a Ana, Gisela, Jesús, Antonio y Dafne, por compartir muchos momentos de trabajo y amistad.

De manera muy especial a la M.C. Begoña Julián Fuentes, por el tiempo dedicado a la revisión del manuscrito final, así como por sus atinados comentarios y consejos (*asko maite zaitut*).

A SAGARPA-CONACYT con el proyecto titulado “ Desarrollo de las bases científicas para el cultivo de pez blanco de Chapala (*Chirostoma promelas*) y Pátzcuaro (*Chirostoma estor estor*) “ con clave de registro SAGARPA- 2002-C01-261.

Al proyecto “ Transferencia tecnológica para el cultivo semintensivo de pez blanco de Pátzcuaro (*Chirostoma estor estor*)” apoyado por Fondos Mixtos (CONACYT-SAGARPA), con número de registro MICH- 2003-C01-12314.

Agradezco ampliamente el apoyo económico para la realización de este proyecto a la Dirección General de Estudios de Postgrado de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Dedico esta Tesis a mi familia, especialmente a mis padres Lázaro Cruz Duran y Consuelo Aguilar Ramírez, así como a mis hermanos Myriam, Martín y Minerva quienes han estado a mi lado apoyándome y brindándome su cariño desde que tengo memoria.

## Resumen

En la última década se ha generado mucho interés en el inicio del cultivo de pez blanco *Chirostoma estor estor*. Este trabajo es una caracterización para la producción de larvas y juveniles de pez blanco, para una producción piloto comercial de un millón de larvas y juveniles por año, la investigación y el diseño de la planta se enfocó en la creación de una operación comercial costo-beneficio aplicable para el cultivo de esta especie. Se diseñó y evaluó un sistema de recirculación, para incubación y alevinaje, compuesto por cinco canaletas (0.16 m<sup>3</sup>), un tanque de sedimentación (0.16 m<sup>3</sup>), un biofiltro (0.32 m<sup>3</sup>) y un tanque de aeración (0.16 m<sup>3</sup>). El período experimental fue de 10 días, consistió en evaluar los parámetros de calidad de agua en este lapso de tiempo. El biofiltro de nitrificación controló los niveles de amonio-N y nitrito-N con valores aceptables (<0 mg/L, <0.05 mg/L, respectivamente). Los sistemas de recirculación fueron diseñados de acuerdo a las necesidades de los mismos y por la producción requerida en las fases del ciclo de cultivo. Se desarrolló un modelo bioeconómico para determinar la viabilidad de la planta de producción a escala comercial en Morelia Michoacán, México. El esquema de la producción fue modelado en base a los trabajos experimentales realizados en la Universidad Michoacana. Los resultados del análisis de costos muestran incrementos en la rentabilidad, con una tasa interna de retorno (TIR) de un 51%. Los resultados económicos fueron también analizados.

*Palabras clave:* pez blanco, incubación, alevinaje, sistemas de recirculación, modelo bioeconómico.

## Abstract

Much interest has been generated during the last decade in promoting the culture of silverside *Chirostoma estor estor*. This work is a characterization of an experimental pilot hatchery for larvae and juvenile production of silverside, for the pilot production of 1 million larvae per year, hatchery research and design has focused on the creation of a cost-effective, commercially applicable operation for the culture of this species. A closed recirculation system was designed and evaluated, both as an incubator and hatchery, composed by five raceways (0.16 m<sup>3</sup>), a sedimentation tank (0.16 m<sup>3</sup>), a biofilter (0.32 m<sup>3</sup>) and a aeration tank (0.16 m<sup>3</sup>). The experimental period was 10 days, consisting in evaluating water quality parameters for this period of time. The nitrifying biofilter controlled ammonium-N and nitrite-N worked within acceptable ranges (< 0 mg/L, <0.05 mg/L, respectively). The hatchery design was based in the recirculating system needs, for the production required in all the cycle phases. A bioeconomic model has been developed to determine a viable scale for a commercial silverside hatchery in Morelia, Michoacan Mexico. The production scheme was modelled after current practices performed at the university of Michoacan. The results for average costs showed increasing returns, with a rising internal rate of return (IRR), 51%. The economic results have also been analysed.

*Keywords:* silverside, hatchery, recirculating systems, bioeconomic model.

# Í N D I C E

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. ANTECEDENTES</b>	
2.1. Aspectos generales de la especie.....	6
2.2. Estudios recientes.....	8
2.3. Cultivo de otros Aterinópsidos.....	12
<b>III. OBJETIVOS</b>	
3.1. Objetivo general.....	14
3.2. Objetivos particulares.....	14
<b>CAPITULO I. Uso de sistemas de recirculación para la acuicultura</b>	
Introducción	
Parámetros de calidad del agua.....	16
Componentes de un sistema de recirculación.....	19
Tanques de cultivo.....	19
Esterilización del agua.....	19
Fuentes de oxigenación y aeración.....	19
Captura de sólidos.....	20
Biofiltración.....	23
Planteamiento del problema.....	28
Objetivos.....	28
Materiales y métodos	
Sistemas de cultivo.....	29
Diseño experimental.....	32
Calidad de agua.....	33
Determinación de sólidos.....	34
Resultados.....	35
Discusión.....	50
Conclusiones y recomendaciones.....	53

## **CAPITULO II. Proceso de diseño de la planta**

Introducción.....	53
Preguntas básicas del diseño.....	56
Estado de diseño preliminar inicial.....	57
Objetivos.....	58
Materiales y métodos.....	58
Diagrama de flujo.....	59
Programa arquitectónico.....	60
Análisis de áreas.....	61
Matriz de Acopio.....	63
Matriz de relaciones.....	64
Diagrama de funcionamiento.....	65
Guía de espacios acuícolas.....	66
Resultados.....	66
Discusión.....	67
Conclusiones y recomendaciones.....	69

## **CAPITULO III. Elaboración de estados financieros y análisis**

Introducción.....	70
Opciones de inversión .....	71
Selección de especies.....	72
Escala económicamente competitiva.....	72
Objetivos.....	73
Materiales y métodos	
Evaluación de la viabilidad económica a nivel de la prefactibilidad.....	74
Plan de inversión para la producción acuícola.....	75
Plan de presupuesto para la operación.....	77
Egresos.....	78
Ingresos.....	79
Evaluadores económicos y financieros preliminares.....	81
Resultados.....	84
Discusión.....	91
Conclusiones y recomendaciones.....	92

<b>IV. DISCUSIÓN GENERAL</b> .....	93
<b>V. LITERATURA CITADA</b> .....	96
<b>VI. ANEXOS</b>	
6.1. Tablas de resultados del primer experimento.....	107
6.2. Tablas de resultados del segundo experimento.....	108
6.3. Tablas de resultados del tercer experimento.....	111
6.4. Calculo para el diseño de áreas de la planta.....	112
6.5. Calculo de insumos para la producción de pez blanco.....	115

## Índice de tablas

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b> Caracterización de las técnicas de remoción de sólidos de SRA.....	22
<b>Tabla 2.</b> Porcentaje de amoníaco libre (como NH <sub>3</sub> ) en agua dulce a pH y temperaturas variables.....	24
<b>Tabla 3.</b> Concentraciones tóxicas de amonio de peces.....	24
<b>Tabla 4.</b> Información general del sistema de incubación y alevinaje de larvas...	48
<b>Tabla 5.</b> Calidad de agua registrada experimento I.....	49
<b>Tabla 6.</b> Calidad de agua registrada experimento II.....	49
<b>Tabla 7.</b> Calidad de agua registrada experimento III.....	49
<b>Tabla 8.</b> Factores generales en proyectos de acuicultura.....	57
<b>Tabla 9.</b> Algunos conceptos de inversión fija para una granja acuícola.....	76
<b>Tabla 10.</b> Tabla de depreciaciones.....	76
<b>Tabla 11.</b> Estimación de costos variables en prefactibilidad para un nivel de producción predeterminado.....	78
<b>Tabla 12.</b> Costos, ingresos y beneficios de un sistema de cultivo (estado estacionario).....	80
<b>Tabla 13.</b> Aproximación al pago de la inversión.....	82
<b>Tabla 14.</b> Valor presente neto.....	83

## Índice de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Clasificación del tamaño de sólidos en aguas utilizadas en sistemas de acuicultura.....	20
<b>Figura 2.</b> Tanque de sedimentación.....	21
<b>Figura 3.</b> Sedimentadores de remolino o hidrociclones.....	21
<b>Figura 4.</b> Sedimentador de tubo o placa.....	21
<b>Figura 5.</b> Filtro de tambor.....	22
<b>Figura 6.</b> Filtro de discos.....	22
<b>Figura 7.</b> Filtro de cinta.....	22
<b>Figura 8.</b> Filtro de lecho de grava.....	27
<b>Figura 9.</b> Filtro CBR.....	27
<b>Figura 10.</b> Filtro de escurrimiento.....	27
<b>Figura 11.</b> Filtro de cuentas flotantes.....	27
<b>Figura 12.</b> Filtro de cuentas dinámicas.....	27
<b>Figura 13.</b> Filtro de arena.....	27
<b>Figura 14.</b> Isométrico del sistema.....	29
<b>Figura 15.</b> Alzado del sistema.....	30
<b>Figura 16.</b> Tanques del sistema.....	31
<b>Figura 17.</b> Sistema de recirculación.....	31
<b>Figura 18.</b> Mediciones de calidad del agua.....	33

## Índice de gráficas

<b>Gráfica</b>	<b>Página</b>
<b>Gráfica 1.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno disuelto ( $O_2$ ) en los sistemas experimentales mañana y tarde.....	36
<b>Gráfica 2.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y amonio-N ( $NH_3$ -N) en los sistemas experimentales mañana y tarde.....	37
<b>Gráfica 3.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito-N ( $NO_2$ -N) en los sistemas experimentales mañana y tarde.....	37
<b>Gráfica 4.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y pH en los sistemas experimentales mañana ( T. sedimentación).....	40
<b>Gráfica 5.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y pH en los sistemas experimentales tarde (T. sedimentación).....	40
<b>Gráfica 6.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y pH en los sistemas experimentales mañana (T. aeración).....	40
<b>Gráfica 7.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y pH en los sistemas experimentales tarde (T. aeración).....	40
<b>Gráfica 8.</b> Concentraciones entre tiempo. (días) y oxígeno ( $O_2$ ) en los sistemas experimentales mañana (T. sedimentación).....	41
<b>Gráfica 9.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno ( $O_2$ ) en los sistemas experimentales tarde (T. sedimentación).....	41
<b>Gráfica 10.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno ( $O_2$ ) en los sistemas experimentales mañana (T. aeración).....	41
<b>Gráfica 11.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno ( $O_2$ ) en los sistemas experimentales tarde (T. aeración).....	41

<b>Gráfica 12.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito (NO <sub>2</sub> -N) en los sistemas experimentales mañana (T. sedimentación).....	42
<b>Gráfica 13.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito (NO <sub>2</sub> -N) en los sistemas experimentales tarde (T. sedimentación).....	42
<b>Gráfica 14.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito (NO <sub>2</sub> -N) en los sistemas experimentales mañana (T. aeración).....	42
<b>Gráfica 15.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito (NO <sub>2</sub> -N) en los sistemas experimentales tarde (T. aeración).....	42
<b>Gráfica 16.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno (O <sub>2</sub> ) en los sistemas experimentales mañana y tarde (T. sedimentación).....	45
<b>Gráfica 17.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito (O <sub>2</sub> ) en los sistemas experimentales mañana y tarde (T. aeración).....	45
<b>Gráfica 18.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y pH en los sistemas experimentales mañana y tarde (T. sedimentación).....	46
<b>Gráfica 19.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y pH en los sistemas experimentales mañana y tarde (T. aeración).....	46
<b>Gráfica 20.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito (NO <sub>2</sub> -N) en los sistemas experimentales mañana y tarde (T. sedimentación).....	47
<b>Gráfica 21.</b> Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito (NO <sub>2</sub> -N) en los sistemas experimentales mañana y tarde (T. aeración).....	47
<b>Gráfica 22.</b> Tasa interna de retorno (TIR).....	83
<b>Gráfica 21.</b> Punto de equilibrio.....	84

## I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura se define como el cultivo de organismos acuáticos bajo condiciones controladas o semi-controladas con fines comerciales, para el consumo humano, recreación, ornato, incremento de las reservas naturales y preservación de especies. Los organismos de mayor interés en esta área son, entre otros moluscos, crustáceos, peces y plantas acuáticas. La acuicultura involucra desde los aspectos biológicos, fisiológicos, químicos hasta los de ingeniería para el diseño de los sistemas de cultivo, así como aspectos de calidad y comercialización de los productos obtenidos de esta biotecnología (Stickney, 1994).

La acuicultura se practica desde hace varios siglos. Los primeros registros datan desde hace más de mil años en el lejano oriente (Bardach, 1972), clasificándose como un arte antes de 1960, donde el cultivo se basaba en el acierto y error (empírico), observaciones cuidadosas de los organismos en cultivo y recreando las condiciones ambientales naturales en donde estos se encontraban.

Es clasificada como una rama de la ciencia desde 1960 donde se involucra la participación de varias disciplinas y oficios entre ellas la ingeniería como parte fundamental para el diseño de los sistemas de cultivo en sus diferentes etapas, la economía en cuanto a costos comercialización y calidad del producto, entre otras, siendo ahora por lo tanto una actividad interdisciplinaria (Stickney *et al.*, 1994).

En los últimos años, la producción acuícola se ha incrementado principalmente por el crecimiento de la población humana, la demanda de los productos proteínicos de alta calidad y la disminución de la capacidad de producción pesquera mundial de ciertas especies por causa de una explotación irracional. Por ello la acuicultura ofrece una importante opción para incrementar la disponibilidad de los alimentos acuáticos.

En México se ha sufrido un proceso de explotación inmoderada por sobrepesca de organismos acuáticos, en las últimas cuatro décadas. La sobrepesca ha impactado tanto aguas marinas como las aguas continentales, cuya producción pesquera se obtiene de los grandes embalses. En 1999 el 9.3% de la pesca total nacional se obtuvo de la pesca continental, cerca de 1.5 millones de toneladas. En general la producción de aguas continentales, tanto en pesca como en acuicultura, ha crecido un 4.7% anual promedio; a diferencia de casi 2% de la pesca marina (Gaspar Dillanes, 2001).

México cuenta con alrededor de 2,171 especies de peces, 500 se distribuyen en los cuerpos de agua dulce del país. Todos ellos poseen peces susceptibles de ser explotados y ahora un importante número son especies exóticas que se originaron de siembras o introducciones y que se han establecido en los cuerpos de agua. Por otro lado, un gran número de especies silvestres nativas poseen un importante potencial de cultivo, pero desafortunadamente se desconoce mucho de su biología básica (Gaspar Dillanes *et al.*, 2001).

De los siete grupos principales explotados en las aguas nacionales, cinco son introducidos, de ellos la tilapia representa más de 80% de las capturas obtenidas en los grandes embalses del país y ha sobrepasado a pesquerías marinas de gran importancia. El establecimiento de esta especie en algunos embalses aumentó la disponibilidad de alimento y la generación de empleos, sin embargo las especies introducidas también han causado un efecto negativo en las comunidades de especies nativas, disminuyendo su abundancia y diversidad, causando daños graves a los ecosistemas acuáticos, tales que la mayoría de ellos están amenazados. Sin embargo la acuicultura en México es relativamente reciente y no existe una tecnología adecuada para el cultivo de especies nativas, de peces continentales o marinos. Los métodos hasta hoy conocidos y aplicados son los utilizados para las especies exóticas (Gaspar Dillanes *et al.*, 2001), y ha permitido una trayectoria de incremento, comenzando con un monocultivo intensivo en estanques y corrales (Rosas Moreno, 1976).

En el país se ha desarrollado en mayor medida un tipo de acuicultura extensiva y semintensiva con especies omnívoras de alto rendimiento, pero son especies que por lo general son competidoras o depredadoras de las especies nativas de los cuerpos de agua donde se ha realizado su cultivo (Mares y Morales, 1986).

Debido a la problemática causada por las especies introducidas en los cuerpos de agua del país ha surgido un importante interés por cultivar especies nativas locales y con ello evitar mayores daños en los ecosistemas, lo cual es una tendencia que la Organización de las Naciones Unidas y La FAO, en particular tratan de implementar (FAO, 2002).

Dentro de las especies nativas de peces importantes en México los aterinópsidos tienen un lugar preponderante. Los aterinópsidos poseen una amplia distribución mundial sin embargo, la mayor parte de ellos se encuentran restringidos en áreas tropicales y subtropicales, se pueden encontrar en la zona marina costera, en estuarios y algunos de ellos se encuentran invadiendo las aguas dulces. La familia comprende entre 150 y 160 especies divididas en 29 géneros (Semple, 1986).

Entre los aterinópsidos de importancia comercial que actualmente es cultivado en Japón, encontramos al Pejerrey de Sudamérica, especie distribuida en Bolivia, Argentina, Sur de Brasil y Uruguay; el cual alcanza tallas de mas de 40 cm. de longitud y hasta 3 Kg. de peso. (Nion 1974, Sverlij, 1991).

Los aterinópsidos mexicanos del genero *Chirostoma* se les conoce comúnmente como charales y peces blancos, su importancia fue establecida desde la época prehispánica y ya a principios de siglo adquirieron características que hicieron de algunas de estas especies verdaderos recursos económicos, con una gran implicación social muy arraigada en las regiones lacustres de México, Guanajuato, Jalisco y Michoacán (Juárez y Palomo, 1985).

Actualmente los rendimientos que aportan estas especies a la producción pesquera son de una gran importancia regional; sin embargo debido a la problemática ambiental y a la presión económica y ecológica que se ejerce sobre ellas, ha provocado que sus poblaciones se encuentren disminuidas y por tanto también su captura (Martínez-Palacios, 2003). Con esto se ha colocado en riesgo de una potencial desaparición a varias especies, una de ellas es el pez blanco de Pátzcuaro.

Esta especie nativa del lago de Pátzcuaro posee un alto valor comercial de hasta US \$80/Kg (Martínez-Palacios *et al.*, 2003). Además tiene una gran aceptación en el mercado debido a su exquisito sabor y su atractivo aspecto a la vista, que la han colocado como un atractivo platillo internacional, generando así una importante derrama económica a los pobladores de la región, ya que existen familias que dependen totalmente de las capturas de esta especie para su sustento diario. El aumento de su demanda y el deterioro ambiental del lago han provocado que actualmente se encuentre en un grave riesgo. Una alternativa para recuperar las poblaciones del pez blanco; así como para crear fuentes de ingreso para los pescadores de la zona, es la implementación de su cultivo (Martínez-Palacios, 2006).

Para establecer un método de cultivo del pez blanco es necesario realizar investigaciones sobre la especie, desde hace algunos años se ha venido trabajando de manera sistemática realizando diversos estudios sobre los requerimientos ambientales de cultivo, fisiología, alimentación, requerimientos nutricionales entre otros, lográndose importantes avances en estas áreas con lo que se tienen las bases para despegar el cultivo piloto comercial de la especie (Martínez-Palacios *et al.*, 2006).

Como consecuencia de estos resultados, tanto la iniciativa privada, como el sector social están interesados en iniciar el cultivo semintensivo del pez blanco, uno de los problemas básicos para poderlo desarrollar es la falta de juveniles de pez blanco en el mercado.

Por lo anterior en el presente trabajo se pretende diseñar un sistema de producción (incluyendo la infraestructura necesaria) de una capacidad de un millón de juveniles de pez blanco por año, considerando crías de tres meses de edad como el producto a comercializar. Así mismo se pretende evaluar sistemas prototipos de cultivo de los diferentes estadios de desarrollo en la etapa de producción experimental y así determinar la factibilidad de estos para la producción a nivel piloto comercial. Finalmente se proyecta realizar un estado y análisis financiero que permita evaluar la rentabilidad económica y social de la planta, lo cual permitirá establecer el costo de producción de los juveniles en el mercado, de tal manera que se asegure la inversión necesaria para el desarrollo del proyecto.

Los resultados de este estudio permitirán saber si la producción comercial de esta especie es rentable y de ser así resolver la necesidad del cultivo del pescado blanco en forma eficiente, segura.

# I. ANTECEDENTES

## 2.1. Aspectos generales de la especie

El pez blanco es un pez neártico, endémico del lago de Pátzcuaro, encontrado en aguas limnéticas con temperaturas que oscilan entre los 18 y 24 °C, concentraciones de oxígeno disuelto de 5 a 8 mg/L, concentraciones de amonio menores de 0.129 mg/L y DBO menores a 0.5 mg/L. Su hábitat son los fondos arenosos, con grava y en las orillas con algas filamentosas o con poca vegetación sumergida (Rosas, 1970).

Es una especie ovípara que desova todo el año, pero con mayor intensidad en el período comprendido entre los meses de marzo y junio (Rosas 1976). Desova en las orillas del lago, donde se presenta un suave declive y poca profundidad, de 25 a 130 cm, sobre algas filamentosas que proporcionan un sustrato ideal para la fijación de huevecillos, además de proporcionar una buena oxigenación por el continuo movimiento del agua (Rosas,1970). Después de la temporada de desove los adultos regresan a aguas profundas.

Tiene una forma específica para seleccionar su alimento, para lo cual intervienen principalmente factores como la apertura máxima de la boca, la velocidad del nado de los peces, tamaño y velocidad de escape de las presas. Los peces de tallas pequeñas seleccionan preferentemente partículas pequeñas mientras los peces de mayor tamaño seleccionan partículas mayores. Sin embargo es claro que a pesar de la selección de presas, los peces siguen consumiendo organismos muy pequeños, lo cual se debe a que poseen un mecanismo de filtración muy eficiente (Ross, 2006). Por lo tanto se le considera una especie zooplactófaga no estricta, con un sistema de filtración complejo, aunque en estadio adulto tiene la habilidad de consumir peces pequeños y decápodos de manera circunstancial (Ross *et al.*, 2006).

Durante varios años y desde la década de los 40's se han venido desarrollando ensayos para la reproducción artificial y el cultivo de *Chirostoma estor estor*, pero los resultados a nivel experimental han sido inciertos. Sin embargo existen registros de algunos estudios que aportan conocimientos sobre su biología básica, pero no son suficientes para establecer un método apropiado de cultivo.

De Buen (1940), realizó uno de los primeros estudios sobre el manejo y aspectos básicos de la biología en algunas especies de peces pertenecientes al genero *Chirostoma* como son, *C. grandocule*, *C. bartoni*, *C. attenuatum*, *C. estor*. El autor hace la descripción de los organismos desde su eclosión hasta los seis meses de edad, pero no menciona el método de cultivo, por lo que sus avances no fueron significativos.

Estudios realizados por Solórzano (1963) muestran de manera general los hábitos alimentarios de pez blanco, así como un bosquejo de la clase e importancia relativa de aquellos organismos habitualmente ingeridos por el pez blanco.

Uno de los primeros en aportar información para el cultivo de pez blanco fue Rosas (1970) dado que en su trabajo menciona aspectos de manejo, alimentación, transporte y comportamiento de las crías de pez blanco, realizando una serie de cultivos en estanquería de concreto. También identifico cuatro estadios tróficos y el tipo de alimento para estos hasta la edad adulta, determinando que los peces pequeños se alimentan de pequeños organismos como el zooplancton y que sus presas aumentan en tamaño en forma proporcional al crecimiento de los peces, consumiendo posteriormente larvas de insectos, hasta llegar a consumir peces pequeños en la edad adulta. Los resultados describen un desarrollo normal de *Chirostoma estor estor* durante sus primeras fases larvianas, teniendo altas mortalidades después de los ocho días de cultivo.

Lara (1974) discute las dificultades que representa el mantenimiento de juveniles de pez blanco en condiciones de cultivo extensivo. En ensayos experimentales crías de pez blanco fueron alimentadas con dietas artificiales.

En cuanto a estudios sobre alimentación destacan los trabajos experimentales realizados por Armijo y Sasso (1976). Cultivaron crías de charal y pez blanco en acuarios con diferentes dietas con sobrevivencias de un 55% hasta el doceavo día y a partir de este momento, se alimentaron con pulga de agua, obteniendo mortalidades de larvas del día 25 al 27 del 95%.

El Centro Regional de Investigación Pesquera de Pátzcuaro (Rosas y Mares, 1988) realizaron varios experimentos con la finalidad de realizar el cultivo de pez blanco, incubaron y eclosionaron larvas de pez blanco a temperaturas de 22-24° C, a densidades de 2748 y 4279 huevos incubados, obteniendo porcentajes de eclosión de 3.31 al 38.27%. Las larvas eclosionadas se alimentaron con leche de polvo y yema de huevo, sus resultados fueron pobres mencionan haber tenido una gran mortalidad de huevos y crías debido principalmente al ataque de hongos.

Rosas-Monge (1994) compara el crecimiento de las larvas del pez blanco en jaulas de cultivo bajo diferentes dietas, cultivándolas aproximadamente durante 51 días. El mejor crecimiento lo obtuvo con zooplancton del lago, obteniendo crecimientos máximos de 34 mm de longitud total y pesos de 0.2488 g.

## **2.2. Estudios recientes**

Durante los últimos seis años se han seguido realizando estudios que han aportado información para establecer un método de cultivo del pez blanco. Estos estudios han sido realizados en el Laboratorio de Acuicultura y Nutrición del INIRENA-UMSNH y están enfocados a establecer un método de cultivo intensivo y semintensivo que permita generar empleos e ingresos a los pescadores del lago de Pátzcuaro.

Con el propósito de optimizar el cultivo del pez blanco se llevo a cabo un estudio sobre el crecimiento de larvas a diferentes temperaturas del agua (Martínez-Palacios, 2002), encontrándose que la óptima con el mayor crecimiento y la mejor sobrevivencia resultó ser de 24.9° C, lo cual sirve hoy como base para el manejo de la especie durante su producción masiva.

Al parecer el genero *Chirostoma* tiene un origen marino, lo cual se apoya de manera complementaria con el hecho de que la mayoría de los miembros de la familia *Atherinopsidae* son marinos. Esto hizo suponer que el pez blanco seria capaz de adaptarse a aguas salinas. Se llevaron a cabo estudios en huevos y larvas de pez blanco manteniéndolos a diferentes salinidades (Martínez-Palacios, 2004), encontrándose que el mejor crecimiento y sobrevivencia de larvas cultivadas a 24.9° C, se alcanzó a salinidades de 10 y 15<sup>0</sup>/<sub>00</sub>. También se observó que a salinidades mayores de 10<sup>0</sup>/<sub>00</sub> el ataque de hongos es inhibido totalmente por lo que la mortalidad por este tipo de parasitosis es reducida. Estos estudios resultaron muy alentadores debido a que en el pasado se habían tenido bajas sobrevivencias en el cultivo de esta especie debido entre otras causas al ataque de hongos del genero *Saprolegnia*, que parasitan tanto huevos fertilizados, como larvas, juveniles y adultos.

Se había descrito anteriormente que los peces blancos adultos eran ictiófagos, pero sin embargo trabajos en el laboratorio, basados en actividades enzimáticas digestivas, un intestino básico, a falta de estomago, las bien desarrolladas espinas branquiales, sugieren que es un organismo filtrador (Rios-Duran, 2000, Graham, 2001, Aguirre-Valdez, 2004, Ross, 2006), lo cual no invalida a que la especie incluya en su dieta astacidos de tamaño mediano y peces.

En cuanto a estudios de fisiología digestiva, destacan los trabajos experimentales realizados por Rios-Duran (2002) y Graham (2001), en donde determinaron la actividad proteolítica total. Así como la actividad de pepsina, pepsinógeno y tripsina en larvas de pez blanco *Chirostoma estor copandaro* y peces adultos de *Chirostoma estor estor* y *Chirostoma estor copandaro*.

Estos autores concluyeron que se observó tanto actividad proteolítica total, como actividad de tripsina, pepsina y pepsinógeno, lo cual indica que estas especies poseen un equipo enzimático capaz de digerir proteínas a temprana edad.

El pez blanco presenta una alta susceptibilidad al estrés; por lo que se llevaron a cabo algunos trabajos encaminados a encontrar compuestos que ayuden a los organismos a sobrellevar de mejor manera el estrés. Existe una relación entre el consumo de ciertas vitaminas en altas dosis, la resistencia a agentes estresantes y el desarrollo de enfermedades, entre las cuales se encuentra la vitamina C. Los trabajos se enfocaron en realizar estudios acerca de las concentraciones de vitamina C en diferentes tejidos de pez blanco, antes y después de la situación del estrés, con el propósito de conocer variaciones en las proporciones de esta vitamina y determinar la capacidad fisiológica de respuesta al estrés de la especie. Se encontró que en los organismos antes y después del transporte la vitamina C se encuentra en mayor proporción en cerebro y gónada (Ríos-Duran, 2006).

El alimento y los costos de alimentación, generalmente constituyen la fracción más significativa dentro de los costos de operación en las empresas dedicadas al cultivo de organismos acuáticos, por esta razón es importante determinar los requerimientos nutricionales de los organismos mantenidos bajo sistemas de cultivo. Las proteínas son el constituyente más importante de cualquier célula y representan el grupo químico más abundante del cuerpo de los animales; por tal motivo se realizó un trabajo para determinar el requerimiento de proteína en juveniles pez blanco, se elaboraron siete dietas con diferentes concentraciones de proteínas. El mejor crecimiento y supervivencia se obtuvo con las dietas que contenían 40%, 45% y 50%. La ganancia de peso individual y el nivel de proteína se analizaron mediante la técnica de punto de inflexión mostrando un requerimiento de proteína del 42% para juveniles de pez blanco (Martínez-Palacios, en prensa).

El establecimiento de requerimientos de ácidos grasos esenciales es primordial para el cultivo de especies comerciales. Por la similitud existente con los Aterinópsidos marinos y la anatomía observada en esta especie zooplanctofaga, el pez blanco ha sido considerado como una especie carnívora (Ross, *et al.*, 2006). Se realizó un experimento para observar el desarrollo de larvas de pez blanco alimentadas con rotíferos enriquecidos con diferentes ácidos grasos. Los resultados más significativos de ganancia de peso y crecimiento se obtuvieron con rotíferos alimentados con microalga, enriquecida con aceite de hígado de bacalao, comparados con las enriquecidas con aceite de maíz y con una concentración comercial de HUFA. Lo que significa que los peces blancos tienen una habilidad de elongar y desaturar, ya que las dietas con rotíferos y algas no poseen más que linoléico y linolenico y los tejidos de pez blanco poseen una alta proporción de ARA, EPA y DHA (Martínez-Palacios *et al.*, 2006).

Las investigaciones llevadas a cabo por el grupo han permitido seguir el cultivo del pez blanco de Pátzcuaro, fuera de su hábitat natural en sistemas de cultivo cerrados. En estos sistemas se ha constatado que los peces llegan a la madurez gonádica en aproximadamente un año, con tallas que oscilan entre los 12 y 15 centímetros de longitud total (Martínez-palacios, 2003).

Tanto hembras como machos han sido evaluados y se ha observado que producen óvulos y esperma al término de un año, además se han logrado los primeros desoves en cautiverio, las larvas así obtenidas se han desarrollado sin contratiempos. La especie es un desovador frecuente, desovando pequeñas cantidades de huevos dependiendo de la talla (500 a 3000 huevecillos), maduran y los picos de desove al parecer se sincronizan con el ciclo lunar. En el laboratorio el fotoperíodo influye de manera preponderante, puesto que se han logrado desoves con alta frecuencia teniendo iluminación de fotoperíodo largo (Martínez- Palacios 2003).

Es evidente que se ha avanzado notoriamente en el cultivo de esta especie puesto que se tienen las bases que nos permiten entender cuales fueron las dificultades en el pasado y porque hubo tantos problemas para su manejo. En el pasado se intento cultivarlos de manera rudimentaria tratando de generalizar algunas técnicas de cultivo de especies de agua dulce, cuando definitivamente la especie tiene un hábitat y requerimientos muy diferentes, mas parecidos a peces marinos que a especies dulceacuícolas.

Actualmente se tienen todas las bases para iniciar una investigación metódica en los temas de mayor importancia para el cultivo piloto comercial de la especie.

Definitivamente no es una especie tolerante, es importante decir que su domesticación no ha comenzado; lo que es muy claro es que su cultivo es factible, aunque no por ello es una técnica sencilla.

### **2.3. Cultivo de otros aterínidos**

Existen numerosos estudios acerca de la familia Atherinopsidae y la mayoría de ellos se orientan hacia especies marinas. Semple en 1984, realiza una descripción del comportamiento reproductivo y el desarrollo temprano de un aterínido australiano, *Craterocephalus spp.* sus observaciones fueron basadas en organismos colectados del medio natural y mantenidos en acuarios donde posteriormente desovaron, lo que le sirvió también para realizar una descripción del desarrollo embrionario y de las larvas eclosionadas, las cuales sometió a cultivo para poder describir su morfología en diferentes etapas.

Kimura y Tsukamoto (1990 y 1993,) realizaron una descripción del desarrollo de huevos, larvas y juveniles de especies comunes en las costas de Japón *Atherinon elymus* e *Hypoatherina tsurugae*, cultivados en laboratorio.

Middaught (1990), cultivó en laboratorio *Atherinopsis californiensis* y *Atherinopsis affinis* los cuales constituyen una parte importante de la biomasa de peces presentes en las bahías y lagunas de California, poseen además una amplia distribución desde el Golfo de California hasta cerca de Columbia Británica; el cultivo lo llevaron a cabo en diferentes salinidades donde determinaron el crecimiento, realizaron también la descripción de las larvas. Posteriormente en 1992 hace otro estudio sobre el cultivo de *Menidia beryllina* de la cual ya se conoce su ecología reproductiva sometida a diversas variables ambientales como son el pH, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto.

También en la bahía de Blackwater, Florida se realizaron estudios empleando el índice gonadosomático y se reportó una mayor actividad reproductiva durante los meses de febrero y abril (Middaught, 1992).

Thompson y Withers (1992), cultivaron en acuarios por un período de 9 días, tres aterínidos habitantes de estuarios australianos, alimentándolos con alimento comercial y obteniendo una mortalidad mínima después de 5 días.

Hasta el momento algunos estudios de alimentación de aterínidos se han realizado con él *O. bonariensis*, estos estudios comprenden una evaluación histológica y morfológicas entre larvas de pejerrey normalmente y carentes de alimentación, la finalidad del trabajo fue conocer el estado nutricional de las larvas (Strüssman, 1989). Con la misma especie Sverlij (1991), realizó un estudio de crecimiento y reproducción de pejerrey en condiciones naturales. En Japón el éxito del mercado se debe a la calidad y sabor de su carne, pero existen ciertas dificultades en el cultivo, específicamente las bajas tasas de crecimiento, así como la temprana madurez sexual que se obtuvo antes de alcanzar la talla comercial, afectando el cultivo comercial (Strüssman, 1993).

## **III. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo general.**

Desarrollar un modelo de planta de producción de larvas y juveniles de pez blanco (*Chirostoma estor estor*) a nivel piloto comercial.

### **3.2. Objetivos particulares**

3.2.1. Evaluar los sistemas de cultivo de incubación y alevinaje a nivel experimental, para diseñar los sistemas adecuados para la producción piloto comercial.

3.2.2. Desarrollar un proyecto ejecutivo integral para la construcción de la planta de producción de larvas y juveniles de pez blanco.

3.2.3. Generar un análisis económico de la factibilidad de la producción piloto comercial del cultivo.

## **Introducción**

Con base en el manejo del agua en un cultivo Wheaton (1993), describe cuatro sistemas de cultivos básicos: sistema abierto (flujo constante), semiabierto (flujo o recambio intermitente), cerrado (sin recambio de agua, solo para compensar las pérdidas por evaporación) y semicerrado (recambio parcial y reciclaje parcial). Cada uno satisface particularmente, las necesidades mínimas de tolerancia a parámetros de calidad de agua de un vasto número de especies acuáticas.

Un sistema de recirculación para la acuicultura (SRA) es una tecnología que permite el cultivo de peces a mayor intensidad (Timmons, 2002). Los SRA necesitan menos de 10% del agua y mucho menos área que los requeridos por otros sistemas para producir la misma cantidad de peces. Los peces se crían en estanques en las condiciones mas seguras posibles, con la ventaja que se pueden proteger dentro de una construcción cerrada para controlar el ambiente. La temperatura, salinidad, pH, alcalinidad, composición química y el oxígeno, son monitoreados y continuamente controlados. Los residuos sólidos son filtrados y removidos, se incorpora oxígeno para mantener concentraciones suficientes, para la densidad de peces en cultivo y por último el efluente es tratado en un biofiltro, para la conversión biológica del nitrógeno amoniacal a nitratos (Muir, 2002).

Los SRA son mas costosos que la mayoría de otros sistemas en acuicultura, residiendo su rentabilidad en una mayor productividad económica por unidad de volumen de cultivo. Una unidad de cultivo tendrá equipos de soporte tales como generadores eléctricos de respaldo que incidirán en los costos totales de producción. Por esto se debe lograr una suficiente producción para que los costos de estos componentes de soporte se reduzcan a un nivel en que los costos totales de producción sean competitivos. Altos niveles de producción son alcanzados replicando unidades modulares exitosas aisladas de los efectos de fallas en otros módulos de producción.

Esta característica permite incrementar el crecimiento productivo en forma controlada respondiendo a la demanda del mercado; lo cual facilita la obtención de capital y la diversificación del riesgo a través de modelos de negocio tales como franquicias, contratos de engorda y cooperativas de producción y mercadeo. Finalmente la tecnología de un SRA es adaptable a diferentes especies, permitiendo a los operadores seguir las tendencias por preferencias de productos ( Timmons *et al.*, 2002) .

### **Parámetros de calidad de agua**

El éxito de una empresa comercial de acuicultura en términos de producción de organismos, depende de proporcionar el ambiente óptimo para el crecimiento rápido al mínimo costo de recursos y capital. Una de las principales ventajas de un sistema intensivo, es la capacidad de controlar el ambiente y numerosos parámetros de la calidad del agua, para optimizar la salud de los peces y sus tasas de crecimiento (Wheaton, 1993).

De todos los parámetros de calidad del agua, el oxígeno es el mas crítico e importante y requiere de un monitoreo continuo en sistemas intensivos de producción (Muir, 2002). La concentración de saturación de oxígeno disuelto es mas alta a baja temperatura y mas baja a altas temperaturas, esta condición es exactamente contraria a la que los peces necesitan para su metabolismo basal y conversión de alimento, aunque el aire que respiramos contiene 21% de oxígeno, este solo es ligeramente soluble en agua. Como resultado las especies acuáticas deben gastar una gran cantidad de energía para extraer el oxígeno disuelto en el agua. Es difícil especificar las concentraciones críticas de oxígeno disuelto, sin embargo los peces de agua cálida se alimentan mejor y crecen mas rápido cuando las concentraciones de oxígeno superan los 5 mg/L (Stickney, 1979).

Frente al oxígeno disuelto la temperatura del agua ocupa el segundo lugar en importancia y el impacto en la viabilidad económica de una empresa acuícola comercial.

La temperatura influye directamente en los procesos fisiológicos de los peces, tales como tasa de respiración, eficiencia de alimentación y asimilación, crecimiento, comportamiento y reproducción. Los peces se clasifican como poiquilotérmicos o de sangre fría, lo que significa que la temperatura de su cuerpo es muy parecida al ambiente que los rodea. Por tanto cada especie tiene un intervalo de temperatura óptima que maximiza su crecimiento y un límite superior e inferior más allá de los cuales no pueden sobrevivir. Tradicionalmente los peces han sido agrupados en 3 categorías dependiendo la temperatura que prefieren: agua muy fría (temperaturas por abajo de 15° C), agua fría (entre 15 y 20° C), agua cálida (de 20° C en adelante), (Bardach, 1997).

Los productos del metabolismo protéico como son los derivados del nitrógeno (amoníaco, nitrito, nitrato) son contaminantes en la columna de agua de los sistemas de acuicultura y deben de estar presentes dentro de concentraciones aceptables. El nitrógeno es un nutriente esencial para todos los organismos vivos y se encuentra en aminoácidos, ácidos nucleicos y pigmentos entre otros. Sin embargo el nitrógeno se necesita relativamente en pequeñas cantidades y las necesidades fisiológicas se satisfacen fácilmente. Las cantidades excedentes se convierten en desechos nitrogenados tóxicos y es necesario eliminarlos (Hagopian y Riley, 1998). Los peces producen y excretan diversos desechos nitrogenados, a través de las branquias, orina y heces; además de la urea, ácido úrico y aminoácidos, los desechos nitrogenados se acumulan de los organismos muertos en los estanques, alimento no ingerido y del gas nitrógeno de la atmósfera. Es particularmente importante descomponer estos compuestos en los sistemas intensivos, debido a la toxicidad del amoníaco, a nitritos y hasta cierto punto, nitratos (Collins, 1975).

Otro parámetro importante es el pH, este valor expresa las características básicas o ácidas del agua. En términos químicos es el logaritmo negativo de la concentración del ión de hidrógeno, la escala varía de 0 a 14.

El pH óptimo para el crecimiento y la salud de la mayoría de los organismos acuáticos de agua dulce, esta en el intervalo de 6.5 a 9.0. La exposición a un pH extremo puede producir estrés y ser letal, pero lo mas importante en la acuicultura son los efectos indirectos resultantes de las interacciones del pH con otras variables. El pH controla una amplia variedad de reacciones en equilibrio y solubilidad, de las cuales las mas importantes son la relación entre la forma no ionizada (forma tóxica) y la ionizada del amoniaco y los nitritos (Hagopian y Riley, 1998).

La salinidad se define como la concentración total de iones disueltos en el agua y generalmente se expresa como partes por mil (ppm). Cada una de las especies acuáticas tiene un intervalo óptimo de salinidad para su reproducción y crecimiento, aunque la tolerancia a la salinidad de la mayoría de las especies acuícolas es bastante amplia. Los peces mantienen la concentraciones de sales disueltas en los fluidos de su cuerpo, regulando el ingreso de iones desde el ambiente y por otro lado evitando la perdida de estos. Este proceso se llama osmoregulación. Los sistemas de acuicultura de agua dulce generalmente se mantienen a una salinidad de 2-3 ppm para disminuir los niveles de estrés y la cantidad de energía requerida para la osmoregulación, con lo cual aumentan las tasas de crecimiento (Rojas, 1992). El pez blanco tiene características de eurihalino, por lo que requiere salinidad para mantener un adecuado crecimiento (Martínez-Palacios, 2004).

Por ultimo un parámetro no menos importante es el bióxido se carbono, este es muy soluble en agua. La mayor parte del bióxido de carbono en la columna de agua en un sistema acuícola es producida por la respiración animal y la descomposición de la materia orgánica, con un pequeño porcentaje proveniente de la difusión atmosférica. La exposición de bióxido de carbono reduce la eficiencia de la respiración y disminuye la tolerancia a concentraciones bajas de oxígeno disuelto, se recomienda un limite de para bióxido de carbono de 15-20 mg/L (Timmons, 2002).

## **Componentes de un sistema de recirculación**

### **Tanques de cultivo**

Los tanques de cultivo en sistemas de recirculación, tienen diversas dimensiones y son construidos de varios tipos de materiales, los mas comunes son la fibra de vidrio, madera, plástico, PVC y concreto, entre otros (Wheaton,1993). La finalidad de estos tanques es contener y mantener los organismos del cultivo, generalmente están diseñados de tal manera que faciliten su limpieza en forma automática y permitan un buen manejo de los organismos cultivados. En los SRA existe una clara tendencia hacia el uso de tanques circulares, estos son atractivos por varios motivos: simples de mantener, los sólidos sedimentables se pueden eliminar de manera eficiente a través del drenaje central, carecen de áreas muertas sin movimiento como otras formas y proveen una calidad de agua uniforme (Timmons, 1998).

### **Esterilización del agua**

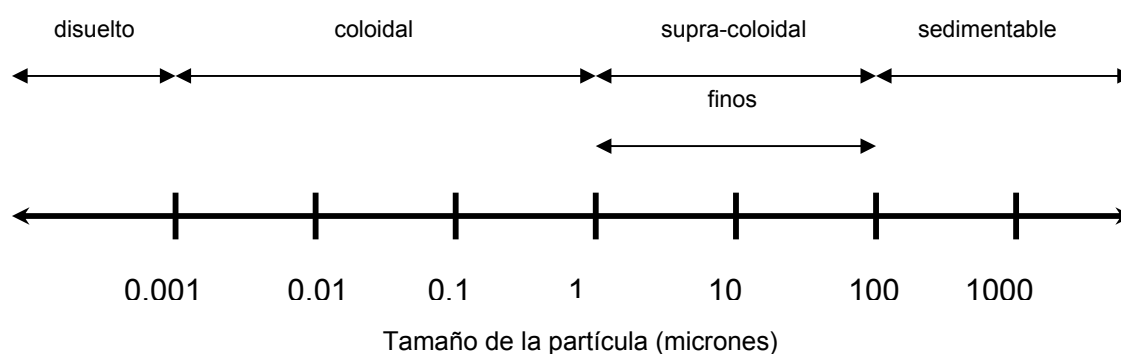
En los sistemas de recirculación de agua utilizados para larvas y juveniles en cultivo, es recomendable utilizar sistemas de esterilización con la finalidad de eliminar o reducir agentes patógenos del sistema y evitar posibles enfermedades. Los procesos de esterilización mas comunes utilizados en la acuicultura son los siguientes: radiación ultravioleta, ozonificación y cloración. Desafortunadamente estos procesos son caros e incrementan los costos de los sistemas de recirculación (Muir, 1997).

### **Fuentes de oxigenación y aeración**

El oxígeno es suministrado al agua de los SRA a través del aire atmosférico utilizando una agitación turbulenta o en su defecto por la inyección de oxígeno puro al sistema mediante dispositivos diseñados para ese efecto. Este gas se incorpora al agua del sistema por medio de difusión, utilizando aireadores mecánicos y bombas. El suministro de oxígeno puro es factible, pero requiere de una mayor inversión, de manera adicional se pueden utilizar torres de oxigenación, las cuales están fabricadas de material de PVC o fibra de vidrio (Parker, 1992).

## Captura de sólidos

Los sólidos en suspensión tienen varios efectos negativos en los SRA, por esto el primer objetivo de todo sistema de tratamiento de recirculación es la remoción de sólidos generados. Los sólidos suspendidos están constituidos por excretas, floculos biológicos y alimento no ingerido (Vinci, 2001). Estos impactan negativamente a los peces, dañan las branquias, propician la proliferación de patógenos y en general descomponen y deterioran la calidad del agua, además de que pueden obstruir biofiltros, orificios, rejillas y atomizadores de los SRA. Las partículas sólidas muestran una gran variedad de tamaños que van desde los centímetros hasta micras y micrones ( $\mu\text{m}$ ), en acuicultura los sólidos se catalogan en clases de acuerdo a su tamaño tal como lo muestra la Figura 1.



**Figura1. Clasificación del tamaño de sólidos en aguas utilizadas en sistemas de acuicultura (Timmons, 2002).**

Todos los intervalos de tamaño de partículas presentes en el agua a tratar en los SRA deben ser atendidos y manejados por sistemas de remoción adecuados a su tamaño; por ejemplo, sedimentación y tamizado para la remoción de grandes partículas y fraccionamiento de espuma o tratamiento de ozono para remover sólidos finos. Como se mencionó anteriormente los sólidos finos suspendidos son extremadamente negativos para la salud general de los peces (Chapman, 1987, Magor, 1988, Alabaster and Lloyd, 1982).

Sin embargo, existe controversia en definir los valores definitivos de las concentraciones de los sólidos suspendidos totales (SST) aceptables, y por ende se dificulta establecer metas de eficiencia de remoción de los SST para diseño de SRA. Por ejemplo, de acuerdo a Alabaster y Lloyd (1982), para empresas pesqueras en tierra, no hay prueba de que la concentración de los sólidos suspendidos que alcanzan 25 mg/L tenga efectos perjudiciales para los peces. La FIFAC (1980) sugiere que las concentraciones de SST sean mantenidas por debajo de 15 mg/L como un valor seguro en sistemas de recirculación, en tanto que Muir (1982) recomienda un límite de 20 a 40 mg/L para estos mismos sistemas. Vinci (2001), ha cultivado tilapia en sistemas que sobrepasaban los 100 mg/L de SST, manteniendo una buena productividad. No hay que olvidar que las diversas especies de peces pueden tener niveles muy diferentes de tolerancia a las concentraciones de sólidos suspendidos y que otros parámetros de calidad de agua pueden disminuir la capacidad de los peces para soportar altas concentraciones de SST, la caracterización de las técnicas de remoción se muestran en la tabla 1.

Los tanques de sedimentación se dividen en dos grupos: separación por gravedad y filtrado físico. Los de gravedad a su vez se dividen en tanques de sedimentación (Fig. 2), separadores de remolino o hidrociclones (Fig. 3) y sedimentadores de placa (Fig.4)

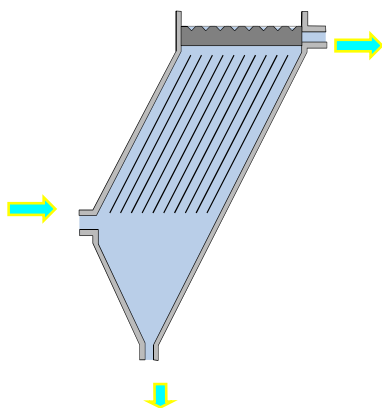


Figura 4. Sedimentador de tubo o placa



Figura 2. Tanque de sedimentación

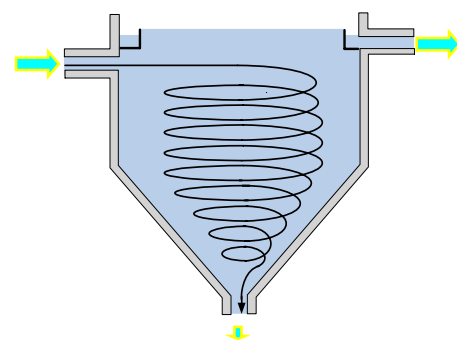


Figura 3. Separador de remolino

Los de filtrado físico se dividen en Filtros de malla (tambor, disco, cinta) y de medios granulares, figuras siguientes .



Figura 5. Filtro de tambor



Figura 6. Filtro de discos



Figura 7. Filtro de cinta

**Tabla 1. Caracterización de las técnicas de remoción de sólidos de los SRA**

Técnica	Tamaño de sólidos eliminados ( $\mu\text{m}$ )	Perdida de carga (m)	Carga hidráulica $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$	SST eliminados (%)	Referencia
Sedimentación	>100		24-94	40-60	EPA 1975
Tanque de sedimentación			24-61		Liao1980
Tubo sedimentador			30-90		Muir 1978
Medios granulares	>20	0.1-3	175-430	20-60	Muir 1982; EPA 1975
Filtro rápido de arena			94-351	67-91	EPA 1975;
			285	70-90	Mayo 1976
Filtros de arena a presión		2-20	115-700	50-95	Muir 1982; EPA 1975
Filtro de cuentas flotantes		0.8-6	1935		Wimberly 1990
Criba	>75	Despreciable	100-2,200		
Medios porosos	>0.1		40-130		Muir 1982
Tierra disuelta	>0.1		29-59	>90	Muir 1983; EPA 1975
Cartucho	1-10	~5	1-10 gpm		
Hidrociclones	1-75	14-35			Huguenin y colt 1989;
Fraccionamiento de espuma	>30	290-280			Chen 1991
Ozonificación	>30				Wheaton 2001

Fuente Timmons, 2002.

## Biofiltración

Para el área ambiental de la acuicultura el nitrógeno es central preocupación como componente de los residuos generados en la crianza de peces (Hagopian y Riley, 1998). En particular los peces excretan varios productos nitrogenados residuales por difusión e intercambio iónico a través de las branquias, orina y heces. La descomposición de estos compuestos nitrogenados es especialmente importante en los SRA debido a la toxicidad del amoníaco, nitrito y en algún grado el nitrato (Wheaton, 1985). El proceso de remoción de nitrógeno amoniacal en un filtro biológico se denomina nitrificación y consiste en la sucesiva oxidación del amoníaco, primero a nitrito y finalmente a nitrato.

El amoníaco es el producto final del catabolismo de las proteínas y es excretado por los peces como amoníaco no ionizado a través de las branquias. Tanto amoníaco, nitrito y nitrato son todos altamente solubles en agua. El amoníaco existe en dos formas no ionizado  $\text{NH}_3$  y ionizado  $\text{NH}_4^+$ . La concentración relativa de estas formas de amoníaco en la columna de agua es una función del pH, temperatura, salinidad (Anthonisen, 1976). La suma de las dos formas ( $\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$ ) se denomina amoníaco total.

El amoníaco no ionizado ( $\text{NH}_3$ ) es la forma mas tóxica, de modo que la toxicidad del nitrógeno amoniacal total (NAT) depende del porcentaje en que se encuentra la forma no ionizada en la concentración de NAT. Un aumento del pH o de la temperatura, aumenta la proporción de la forma no ionizada del nitrógeno amoniacal, por tanto resulta conveniente evaluar y determinar estos parámetros, para evitar incrementar los niveles de toxicidad de los desechos nitrogenados (U.S. EPA, 1975). La tabla 2. resume los efectos de la temperatura y del pH en porcentajes de amoníaco libre en agua dulce y la tabla 3. resume las concentraciones de amonio en peces y sus efectos.

**Tabla 2. Porcentaje de amoniac libre (como NH<sub>3</sub>) en agua dulce a pH y temperatura de agua variables**

pH	10°C (50°F)	15°C (59° F)	20°(68°F)	25°C (77°F)
7.0	0.19	0.27	0.40	0.55
7.1	0.23	0.34	0.50	0.70
7.2	0.29	0.43	0.63	0.88
7.3	0.37	0.54	0.79	1.10
7.4	0.47	0.68	0.99	1.38
7.5	0.59	0.85	1.24	1.73
7.6	0.74	1.07	1.56	2,17
7.7	0.92	1.35	1.96	2.72
7.8	1.16	1.69	2.45	3,39
7.9	1.46	2.12	3,06	4.24
8.0	1.83	2.65	3.83	5.28
8.1	2.29	3.32	4.77	6,55
8.2	2.86	4.14	5.94	8.11
8.3	3.58	5.16	7.36	10.00
8.4	4.46	6,41	9,09	12.22
8.5	5.55	7.48	11.18	14.97

(Spotte, 1979)

**Tabla 3. Concentraciones tóxicas de amonio en peces**

Amoniac no ionizado	Efecto
0.4 – 2.5 mg/L	Concentración letal para muchas especies de peces. Algunas especies, como <i>Clarius batrachus</i> tiene una gran tolerancia a altas concentraciones de amonio no ionizado (3.4 mg/L)
0.05 – 0.4 mg/L	Concentración subletal para algunas especies, causa algunos efectos como hiperlaplasia, reducción de actividad y crecimiento, daños en hígado, riñones y cerebro.
<0.02 – 0.05 mg/L	Concentraciones seguras para muchas especies de peces

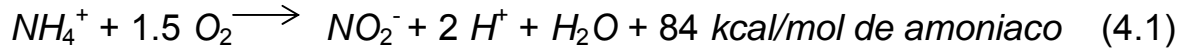
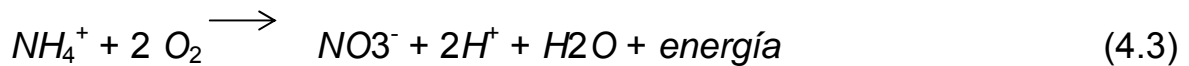
(Howells, 1994)

La filtración biológica puede ser una medida efectiva para controlar el amoníaco; en comparación con el recambio de agua para controlar sus niveles. Existen dos grupos distintos de bacterias los que colectivamente ejecutan la nitrificación, estos son catalogados como bacterias quimioautótrofas, ya que obtienen su energía de la oxidación de compuestos inorgánicos a diferencia de las bacterias heterótrofas que obtienen energía oxidando compuestos orgánicos (Rojas, 1992). Las bacterias de oxidación de amoníaco obtienen su energía oxidando amoníaco no-ionizado a nitrito e incluyen bacterias del género *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus* y *Nitrosovibrio*. Las bacterias de oxidación del nitrito oxidan el nitrito a nitrato e incluyen bacterias del género *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* y *Nitrospina* todas ellas bacterias aeróbicas (Hogopian y Riley, 1998).

En los biofiltros las bacterias nitrificantes normalmente coexisten con microorganismos heterótrofos como bacterias heterótrofas, protozoos y micrometazoos, que metabolizan biológicamente compuestos orgánicos degradables. Las bacterias heterótrofas crecen significativamente más rápido que las bacterias nitrificantes y prevalecen por sobre las bacterias nitrificantes compitiendo por espacio y oxígeno en los biofiltros, cuando las concentraciones de materia orgánica y particulada son altas. Por este motivo es imperativo que la fuente de agua para los biofiltros sea mantenida tan limpia como sea posible con la mínima concentración de sólidos totales (Zhu, Chen, 2001).

En resumen la nitrificación es un proceso de dos etapas, donde primero el amoníaco se oxida a nitrito y luego el nitrito se oxida a nitrato.

Las ecuaciones 4.1, 4.2 y 4.3 muestran las conversiones químicas básicas que ocurren durante la oxidación por medio de *nitrosomonas*, *nitrobacter* y la reacción de oxidación total, este proceso requiere altos valores de oxígeno debido a que estas bacterias son aeróbicas por lo que estos sistemas necesitan estar altamente oxigenados (U.S. EPA, 1975).

**Nitrosomonas****Nitrobacter****Total**

Existen varios sistemas de Biofiltración, en los cuales se emplean bacterias que crecen ya sea fijadas a una superficie o suspendidas a una columna de agua (Ridha, Cruz, 2001). Casi todos los bioreactores usados en sistemas de recirculación son de película fija, donde las bacterias nitrificantes crecen en la superficie de un sustrato o medio de soporte sólido, húmedo y sumergido. La capacidad de remoción de amoniac de los filtros biológicos, es dependiente de la superficie total disponible para el desarrollo de bacterias nitrificantes. El medio usado para los biofiltros debe ser inerte, no comprensible y no degradable biológicamente. Los medios utilizados típicamente en biofiltros en acuicultura son arena, roca molida o cantos rodados de río, algunas formas de material plástico o cerámico en forma de pequeños gránulos o grandes esferas y anillos. Los biofiltros deben de ser cuidadosamente diseñados para evitar la limitación de oxígeno, la carga excesiva de sólidos y la demanda biológica de oxígeno (Zhu, Chen, 2001).

Los biofiltros se dividen en sumergidos (lecho de grava Fig. 8, contactadores biológicos rotatorios (CBR) Fig. 9), escurrimiento (Fig.10), cuentas flotantes (Fig.11), cuentas dinámicas (Fig.12) y de arena de flujo ascendente (Fig. 13).

Figura 8. Filtro lecho de grava



Figura 9. Filtro CBR



Figura 10. Filtro escurrimiento



Figura 11. Filtro cuentas flotantes



Figura 12. Filtro cuentas dinámicas



Figura 13. Filtro de arena

## **Planteamiento del problema**

Existen tres niveles de producción en la acuicultura, experimental, piloto y comercial. Para el caso de pescado blanco en los últimos años se han venido haciendo investigaciones para establecer un método de cultivo, en sistemas de recirculación y estáticos (prototipos) para la producción de larvas a nivel experimental, estos han mostrado ser eficientes en cuanto al mantenimiento de calidad de agua, además de permitir un buen desarrollo de los organismos. Sin embargo no se ha podido definir la máxima capacidad de producción debido a las bajas tasas de carga que se manejan en este nivel de producción. Por lo tanto es necesario saber cual es la capacidad de carga de los sistemas experimentales y así extrapolar una producción comercial para mantener un millón de juveniles por año.

## **Objetivos**

Evaluar los sistemas construidos *ad hoc* para el cultivo de larvas de pez blanco a nivel piloto comercial.

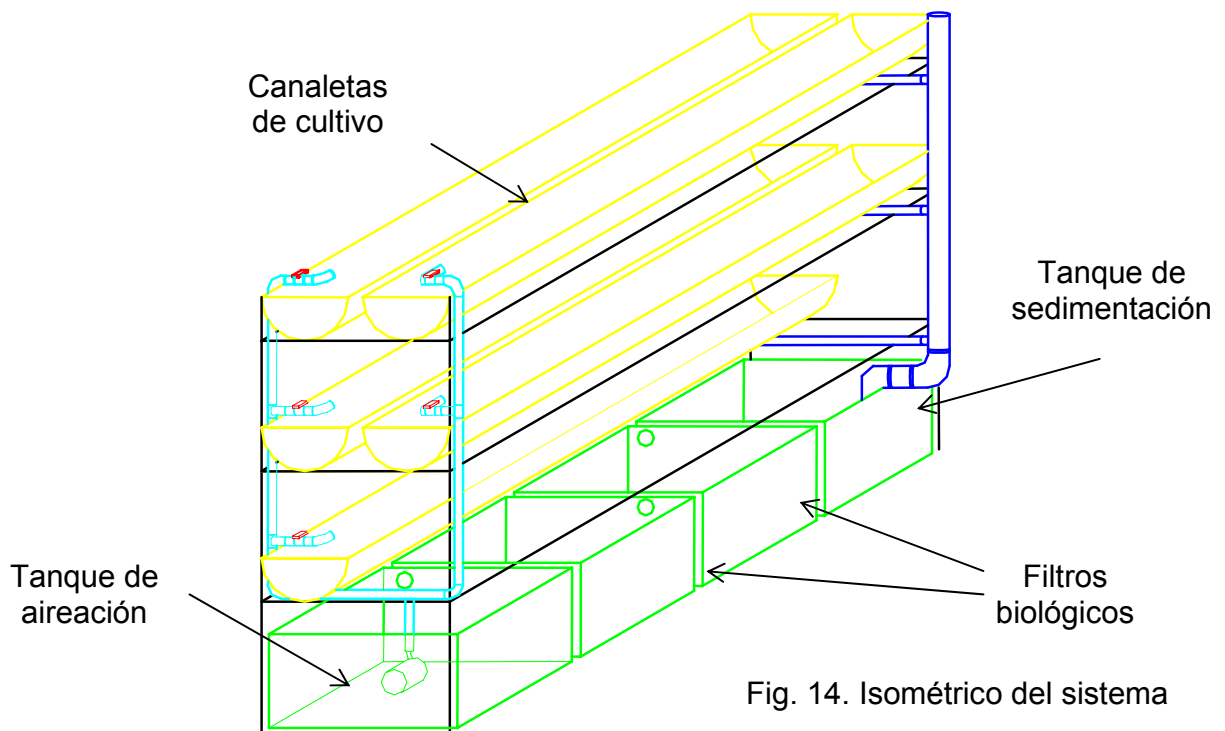
- a) Evaluar los parámetros de calidad de agua de los sistemas estáticos prototipos para incubación y alevinaje de pez blanco.
- b) Evaluar los parámetros de calidad de agua de los sistemas de recirculación prototipos para incubación y alevinaje de pez blanco.
- c) Evaluar la densidad de carga máxima de los sistemas de recirculación prototipos para incubación y alevinaje de pez blanco.

## Materiales y métodos

### Sistemas de cultivo

De acuerdo con los trabajos existentes y debido a la gran similitud que existe entre las larvas de pez blanco con las de peces marinos, en lo que respecta al tamaño del huevo, poca reserva de vitelo, tamaño de la larva al momento de la eclosión, apertura de boca y poca tolerancia al manejo, se aplicaron técnicas existentes para el cultivo de peces marinos. Los sistemas de recirculación fueron diseñados, construidos y acondicionados en las instalaciones del Laboratorio de Acuicultura del Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Se utilizaron tres sistemas de recirculación de agua contruidos de fibra de vidrio y PVC, la conexión de los sistemas se hizo con tubería de PVC, los sistemas se equiparon con aireación continua, tanques de sedimentación, tanques de aireación y filtros biológicos (Fig,14, Fig,15, Fig, 17).



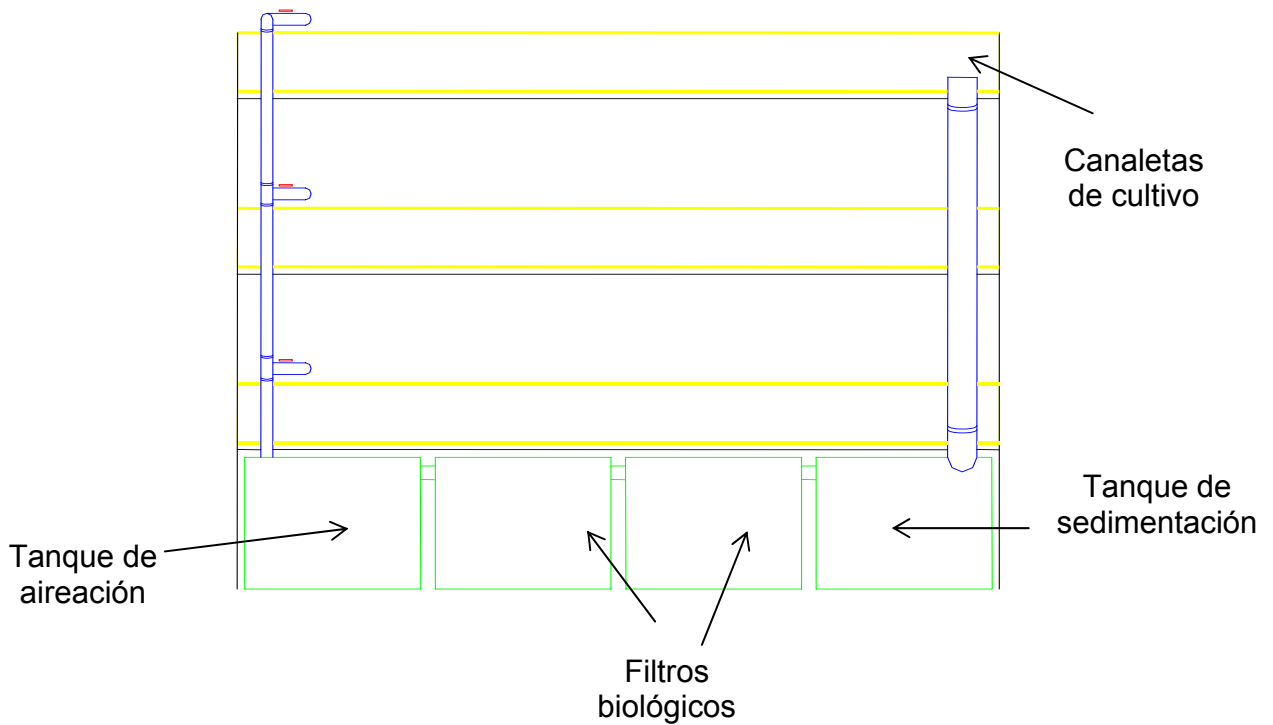


Fig. 15. Alzado del sistema

Cada sistema se integró con 5 canaletas fabricadas de tubería de PVC de diámetro de 16", con dimensiones de 0.40 x 2.60 x 0.20 m y capacidad de 160 litros (90 litros efectivos de volumen de agua) Fig. 17, un tanque de sedimentación de fibra de vidrio de 40x80x50 cm, con una capacidad de 240 litros , dos filtros biológicos de fibra de vidrio de 40x80x50 cm con una capacidad de 160 litros cada uno, el medio de contacto utilizado para el biofiltro fue a base de tubos de plástico, un tanque de aeración de fibra de vidrio, con dimensiones de 40x80x50 cm y una capacidad de 160 litros (Fig,16), una bomba sumergible de  $\frac{3}{4}$ " y tubería de alimentación de PVC diámetro de  $\frac{3}{4}$ " , tubería de drenaje de PVC de 2" diámetro. Es un sistema unidireccional y el flujo del agua es regulado por válvulas en la alimentación de cada canaleta del cultivo, el sistema de drenaje permite que cada canaleta se desagüe por si misma, a manera de un vertedero demasías hacia un gran drenaje general que llega al tanque de sedimentación, posteriormente pasa por dos filtros biológicos y finalmente llega al tanque de aeración donde el agua es bombeada y reincorporada al sistema por una bomba centrífuga de flujo constante.

El funcionamiento del sistema esta regulado por las válvulas de PVC las cuáles permiten el control del flujo; cuando el sistema se utiliza para la incubación de los huevecillos el flujo se cierra, se mantiene cerrado durante los primeros días de la eclosión hasta que la larvas tienen alrededor de cuatro semanas. Posteriormente se abre el flujo del sistema y se regula de acuerdo al crecimiento de las larvas.

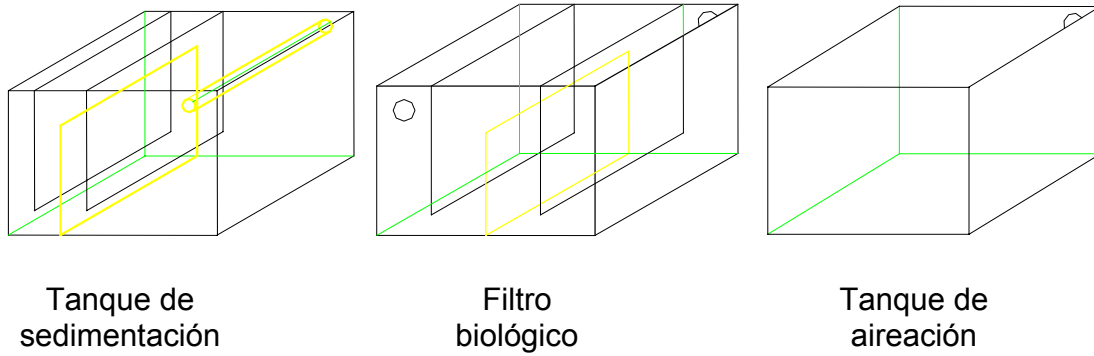


Fig. 16. Tanques del sistema



Fig. 17. Sistema de recirculación

### **Diseño experimental**

Para evaluar los prototipos de cultivo utilizados en la fase experimental de la producción de larvas y juveniles de pez blanco, se llevaron a cabo varios experimentos. En el primer experimento se colocaron 875 larvas de pez blanco en una canaleta de un sistema estático de cultivo con recambios de agua diarios (ver anexo 6.1). Se evaluaron los parámetros de calidad de agua del sistema (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, amonio y nitrito) dos veces al día al igual que la supervivencia por un período de nueve días (ver anexo 6.1).

Para el segundo experimento se colocaron larvas de pez blanco, con una edad promedio de tres meses en tres sistemas de recirculación cada uno de ellos integrados por cinco canaletas de cultivo, tanque de sedimentación y filtros biológicos, la cantidad de organismos totales distribuidas en las canaletas fueron distintas (ver anexo 6.2). Se valoraron los parámetros de calidad del agua en la salida de drenaje hacia el tanque de sedimentación, efluente (sitio I) y en el tanque de aeración situado a la salida de los filtros biológicos, afluente (sitio II), dos veces por día (9:00 am. y 6:00 pm.); así como la supervivencia por un período de diez días.

Finalmente para el último experimento se colocaron 4,885 las larvas de los tres sistemas del experimento 2 en un solo sistema de recirculación constituido por cinco canaletas, para poder evaluar la eficiencia máxima del sistema a una densidad extrema. De igual manera se tomaron los parámetros de calidad de agua del sistema en el mismo lugar y hora, que el segundo experimento; así como la supervivencia por un período de diez días (ver anexo 6.3).

## Calidad del agua

Con la finalidad de determinar la calidad del agua en los sistemas de cultivo, se determinó la temperatura del agua y las concentraciones de oxígeno disuelto con un oxímetro marca YSI, modelo 55 previamente calibrado. Para el potencial de hidrógeno (pH), se utilizó un potenciómetro Accumet Basic modelo AB15 de Fisher Scientific. Los desechos nitrogenados (amonio, nitrito), se analizaron mediante la técnica de Nessler con un equipo de análisis químico portátil para la acuicultura, siguiendo los criterios propuestos por Hach (1997).



Mediciones de temperatura y oxígeno



Mediciones de amonio y nitrito



Mediciones de pH

Fig. 18. Mediciones de calidad del agua

### **Determinación de sólidos**

Las determinaciones de sólidos que se utilizan con mayor frecuencia son los sólidos suspendidos totales (SST) y las de los sólidos sedimentables (SS). La cantidad de sólidos suspendidos totales es sencilla de determinar. El equipo que se utilizó fue: un horno de secado, una balanza analítica, filtros de fibra de vidrio (Whatman GF/C). Para determinar los sólidos suspendidos totales se pesó primero el filtro de fibra de vidrio y luego se filtro un volumen conocido de agua del sistema a través de el, cronometrando el tiempo de llenado. A continuación se seco el filtro a 105° en el horno de secado durante una hora. Una vez seco se peso nuevamente y la diferencia de peso se dividió por el volumen de la muestra de agua. El resultado que se obtuvo correspondió a la concentración de sólidos suspendidos totales (mg/L).

## **Resultados**

### **Experimento 1**

El trabajo tuvo una duración de 9 días, consistió básicamente en la descripción del comportamiento de los desechos nitrogenados y parámetros físicoquímicos analizados en una canaleta de un sistema estático de cultivo; así como la sobrevivencia del pez blanco en cultivo (ver anexo 6.1).

Se registró un intervalo de temperatura del agua de 18.7 a 22.4° C, con un promedio de  $19.7 \pm 1.04^\circ$  C en los nueve días del estudio. Entre los días 5 y 7 se observó una disminución de la temperatura del agua registrándose valores de 18.7 y 18.9° C.

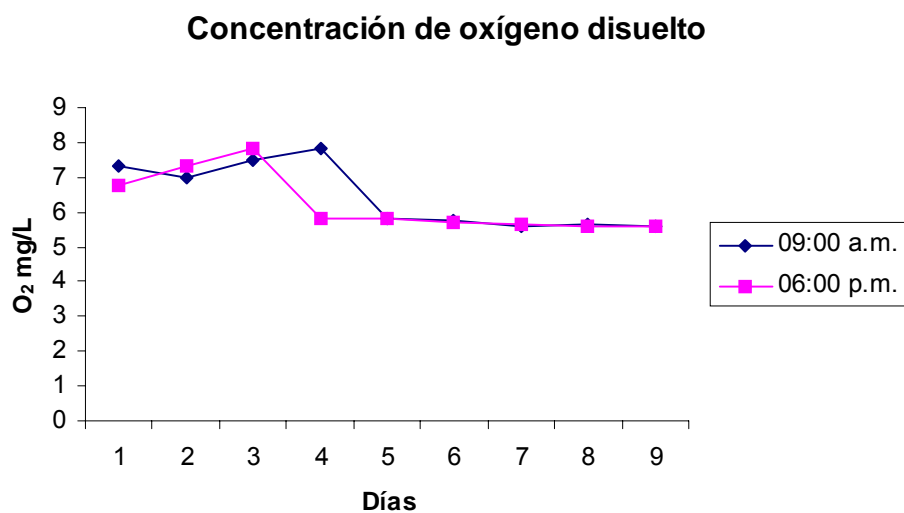
La salinidad se mantuvo constante en 5 ppm gracias a que se recambió agua diariamente, compensando el volumen del agua perdido (60%) por el sifoneo diario.

La concentración de oxígeno disuelto promedio registrada fue de  $6.33 \pm 0.87$  mg/L, a partir del día 4 se observó un decremento en la concentración de oxígeno disuelto manteniéndose hasta el final del experimento a concentraciones de 5.57 mg/L en promedio (gráfica 1.).

Se registraron valores de pH en un intervalo de 7.90 a 8.03, con un promedio de  $7.9 \pm 0.027$  durante todo el periodo del experimento.

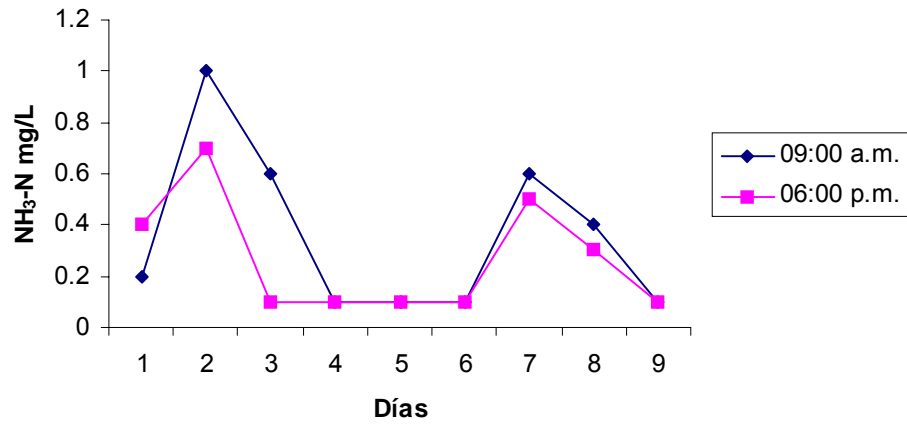
Por lo que se refiere a los compuestos nitrogenados, el amonio ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) registro una concentración inicial de 0.2 mg/L el primer día incrementándose el día 2 a una concentración máxima de 1.0 mg/L, sin embargo a partir del día 4 la concentración disminuyó hasta 0.1 mg/L manteniéndose hasta el día 6, donde se incrementó una vez mas a concentraciones de 0.6 mg/L para posteriormente disminuir a una concentración de 0.1 mg/L el día 9. El promedio a lo largo del período analizado fue de  $0.31 \pm 0.27$  mg/L (gráfica 2.).

La concentración de nitrito-N tendió a incrementarse a través del tiempo desde una concentración inicial de 0.03, hasta concentraciones mayores a la sensibilidad del equipo  $>0.50$  mg/L, los días 7 y 8 seguida de una disminución a 0.20 mg/L para el día 9. El promedio a lo largo del período analizado  $0.23 \pm 0.16$  (gráfica 3.).



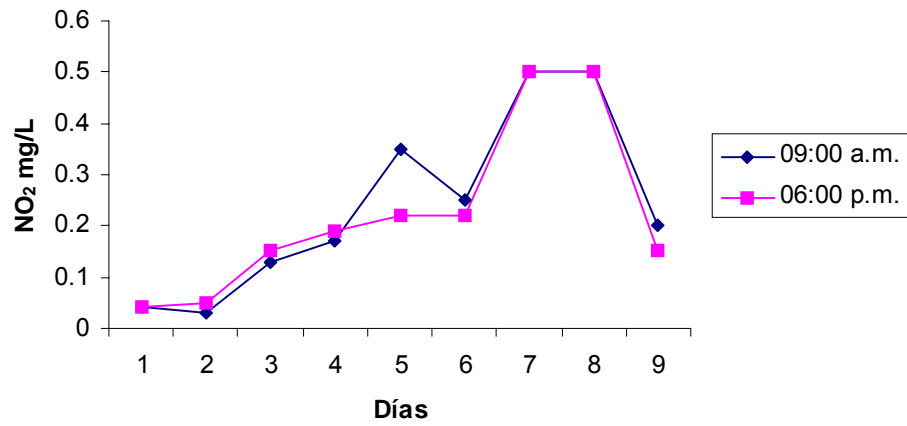
**Gráfica 1. Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno disuelto ( $O_2$ ) en los sistemas experimentales mañana y tarde**

### Concentración de NH<sub>3</sub>-N



Gráfica 2. Concentraciones entre tiempo (días) y amonio-N (NH<sub>3</sub>-N) en los sistemas experimentales mañana y tarde

### Concentración de NO<sub>2</sub>



Gráfica 3. Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito-N (NO<sub>2</sub>-N) en los sistemas experimentales mañana y tarde

## Experimento 2

Este experimento 2 tuvo una duración de 10 días, en los cuales se monitorearon los parámetros de calidad del agua y supervivencia de tres sistemas de recirculación (prototipos) con diferentes densidades (ver anexo 6.2).

El monitoreo se llevó a cabo en los sitios descritos anteriormente a las 9:00 y 6:00 pm. Los datos puntuales se reportan en el anexo 6.2. mientras que aquí se grafican las variables más relevantes cuyo comportamiento se describe a continuación.

La temperatura se mantuvo estable en los tres sistemas registrándose un intervalo de 19.4 a 21.7 °C con un promedio de  $20.63 \pm 0.49$  en los 10 días del estudio.

La salinidad se mantuvo constante en 5 ppm,

Los valores registrados del pH fueron en intervalos de 8 a 7.05, con un promedio de  $7.35 \pm 1.79$  en los dos sitios, mostrando una disminución gradual de casi un punto del día 1 al 10 del estudio (gráfica 4 a 7).

Las concentraciones de oxígeno disuelto promedio registradas fue de  $5.58 \pm 1.47$  mg/L en los dos sitios, la concentración mostró variaciones en los dos sitios de muestreo aun a través del paso por el biofiltro. Disminuyeron en las mañanas y se incrementaron por las tardes, fluctuando entre 7.55 y 5 mg/L (gráfica 8 a 11).

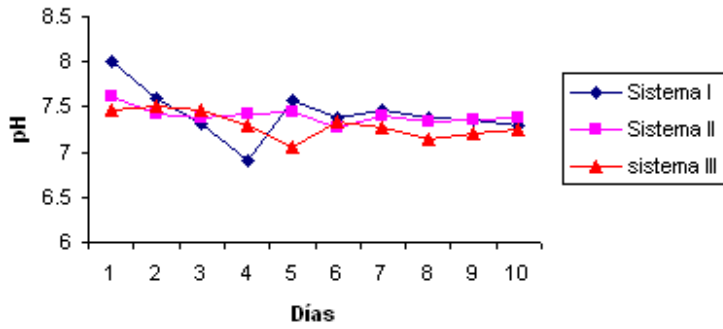
Las concentraciones de amonio estuvieron por debajo del límite de sensibilidad del equipo de medición (Hach) durante todo el periodo del experimento ( $< 0$  mg/L).

La concentración inicial en los tanques de sedimentación de  $\text{NO}_2\text{-N}$  fue diferente entre los tres sistemas con valores mas altos para el sistema I principalmente por la tarde (0.04 mg/L) comparado con los sistemas II y III (0.01 – 0.02 mg/L).

Sin embargo a lo largo del periodo analizado los valores se incrementaron principalmente en los sistemas II y III alcanzando valores máximos en el sistema III de 0.05 a 0.06 por la mañana y la tarde del día 7.

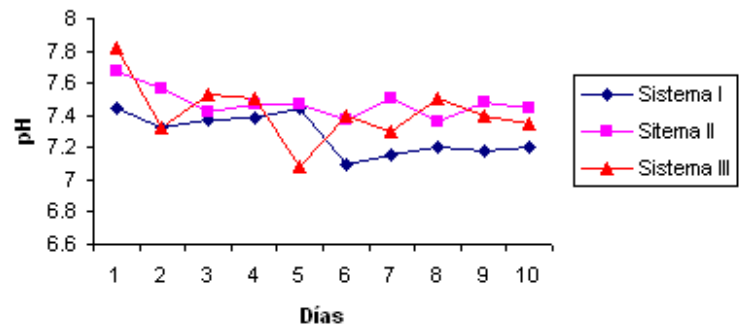
El promedio de los tanques de sedimentación a lo largo del período analizado fue de  $0.037 \pm 0.014$ . La concentración de nitritos–N en el tanque de aeración también tendió a incrementarse, en el período que duró el experimento alcanzando valores máximos por la mañana del día 7 de 0.04 mg/L en el sistema III y por la tarde del 6 de 0.05 mg/L, en los sistemas I Y II, teniendo un promedio de  $0.029 \pm 0.012$  (gráfica 12 a 15).

pH tanque sedimentador 9:00 am



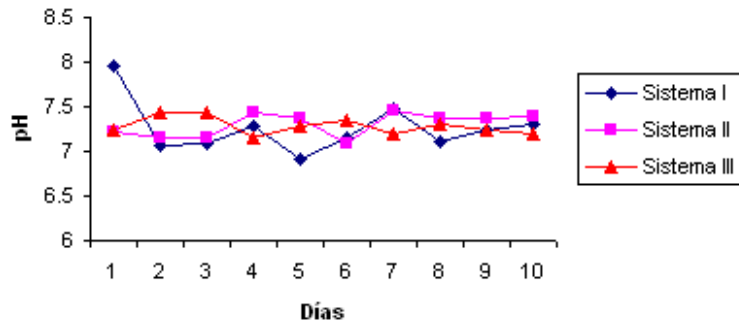
Gráfica 4. Concentraciones entre tiempo (días) y pH en los sistemas experimentales mañana (T. sedimentación)

pH tanque de sedimentación 6:00 pm



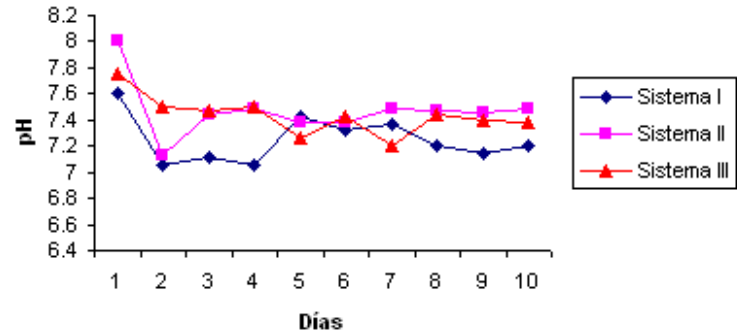
Gráfica 5. Concentraciones entre tiempo (días) y pH en los sistemas experimentales tarde (T. sedimentación)

pH tanque de aereación 9:00 am



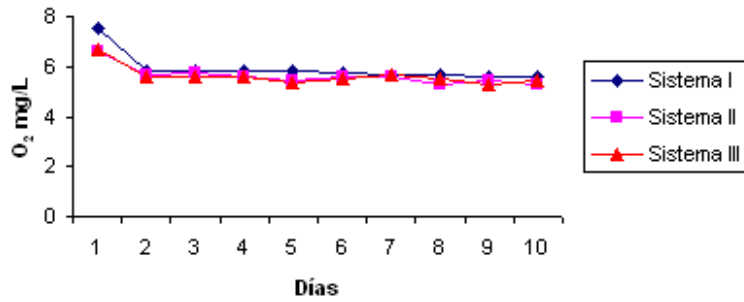
Gráfica 6. Concentraciones entre tiempo (días) y pH en sistemas experimentales mañana (T. aereación)

pH tanque de aereación 6:00 pm



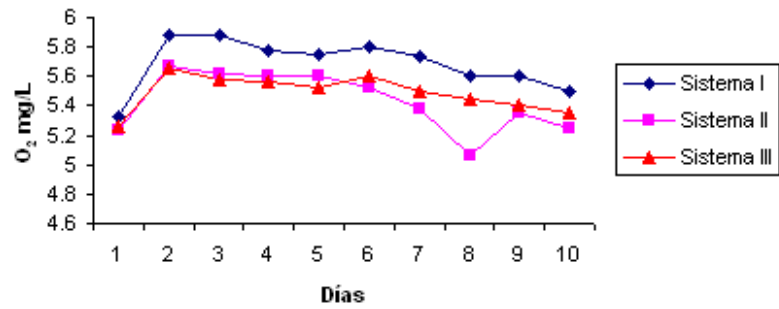
Gráfica 7. Concentraciones entre tiempo (días) y pH en sistemas experimentales tarde (T. aereación)

Oxígeno disuelto tanque de sedimentación  
9:00 am



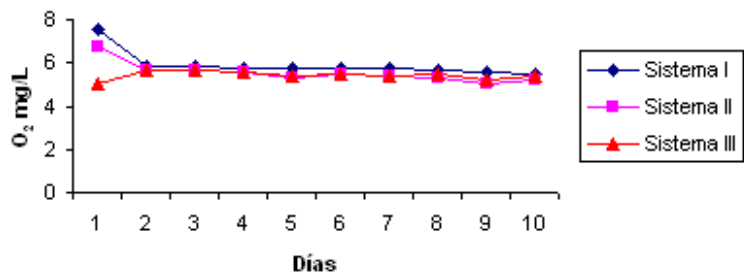
Gráfica 8. Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno (O<sub>2</sub>) en los sistemas experimentales mañana (T. sedimentación)

Oxígeno disuelto tanque de sedimentación  
6:00 pm

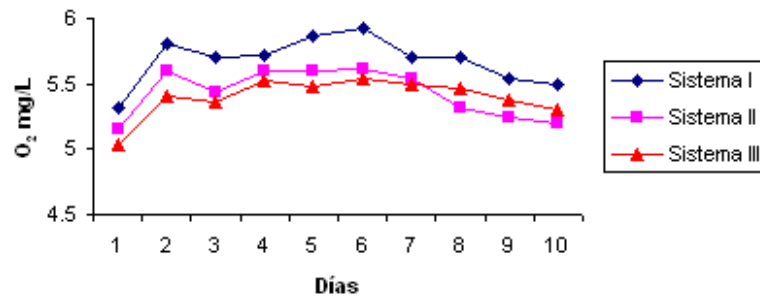


Gráfica 9. Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno (O<sub>2</sub>) en los sistemas experimentales tarde (T. sedimentación)

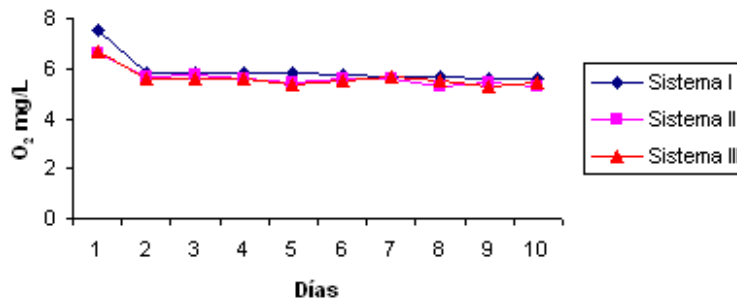
Oxígeno disuelto tanque de aereación  
9:00 am



Oxígeno disuelto tanque de aereación  
6:00 pm

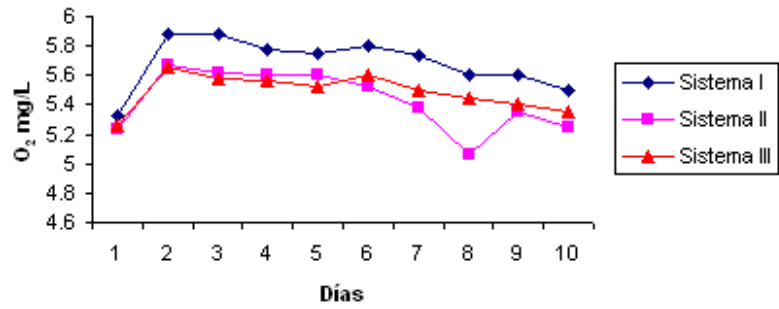


Oxígeno disuelto tanque de sedimentación  
9:00 am



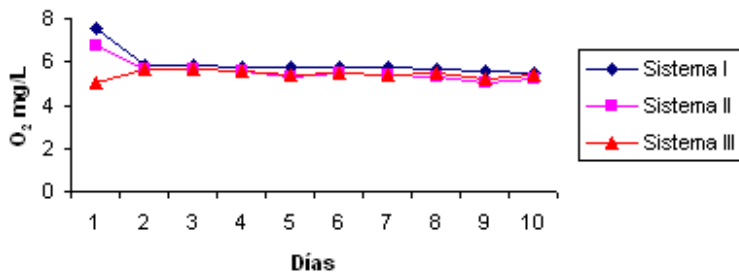
Gráfica 8. Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno ( $O_2$ ) en los sistemas experimentales mañana (T. sedimentación)

Oxígeno disuelto tanque de sedimentación  
6:00 pm



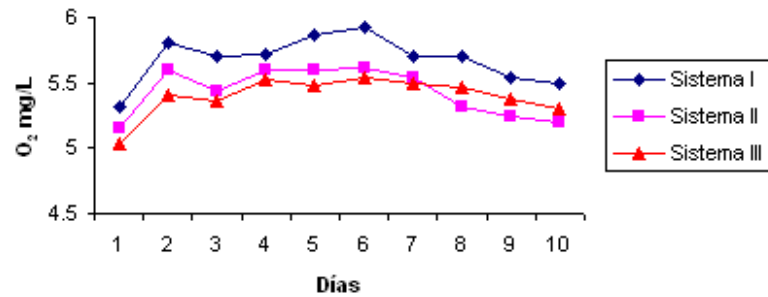
Gráfica 9. Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno ( $O_2$ ) en los sistemas experimentales tarde (T. sedimentación)

Oxígeno disuelto tanque de aereación  
9:00 am



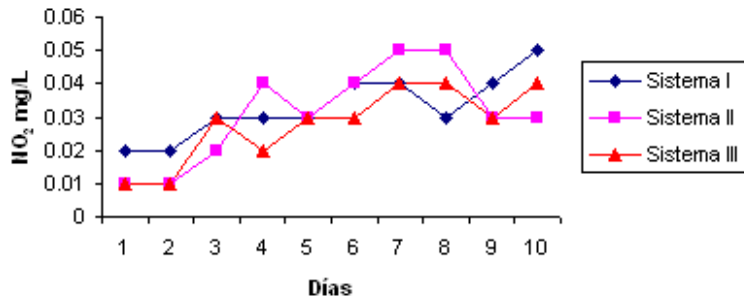
Gráfica 10. Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno ( $O_2$ ) en los sistemas experimentales mañana (T. aereación)

Oxígeno disuelto tanque de aereación  
6:00 pm



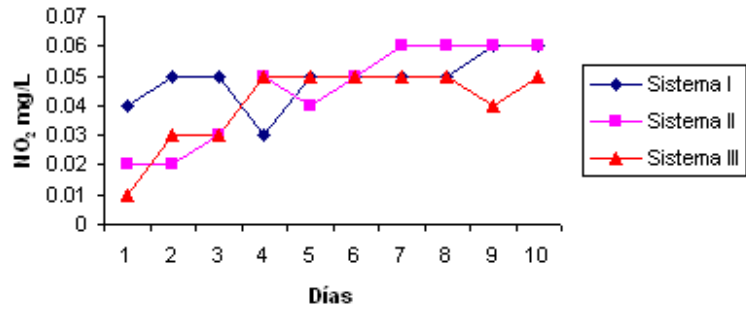
Gráfica 11. Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno ( $O_2$ ) en los sistemas experimentales tarde (T. aereación)

**NO<sub>2</sub> tanque de sedimentación  
9:00 am**



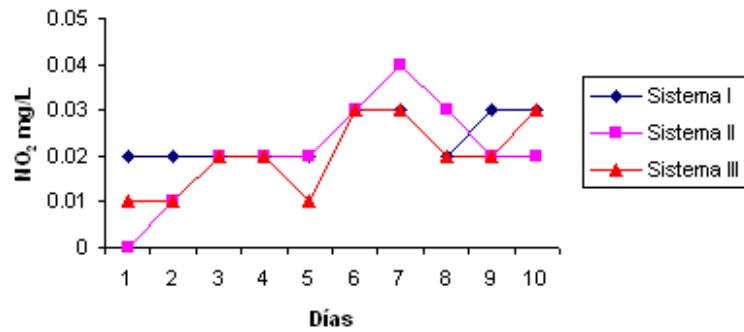
**Gráfica 12. Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito-N (NO<sub>2</sub>-N) en sistemas experimentales mañana (T. sedimentación)**

**NO<sub>2</sub> tanque sedimentación  
6:00 pm**



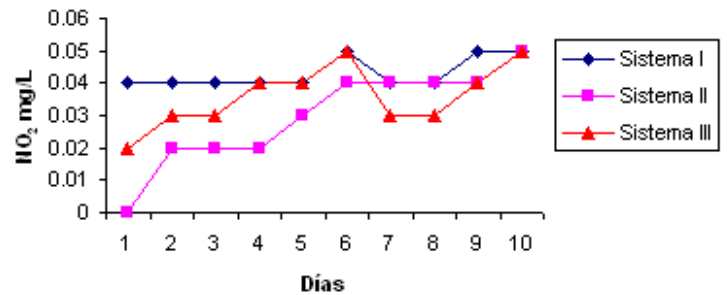
**Gráfica 13. Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito-N (NO<sub>2</sub>-N) en sistemas experimentales tarde(T. sedimentación)**

**NO<sub>2</sub> tanque de aereación  
9:00 am**



**Gráfica 14. Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito-N (NO<sub>2</sub>-N) en los sistemas experimentales mañana (T. aereación)**

**NO<sub>2</sub> tanque aereación  
6:00 pm**



**Gráfica 15. Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito-N (NO<sub>2</sub>-N) en sistemas los experimentales tarde (T. aereación)**

### Experimento 3

Es útil recordar que para este experimento se colocaron las larvas de las 3 replicas anteriores (experimento 2) en un solo sistema de recirculación para poder determinar su eficiencia con una capacidad de carga mayor. El monitoreo de igual número de días se llevó a cabo en los mismos sitios que el experimento 2, en el afluente tanque de aeración (sitio II) y en el tanque de sedimentación efluente (sitio I) del sistema a la misma hora, los datos puntuales se reportan en el anexo 6.3.

En este experimento se registró un intervalo de temperatura de 21 a 22.7 °C, con un promedio de  $22.14 \pm 0.52$  en los diez días que duró el estudio.

La salinidad se mantuvo constante en 5 ppm.

La concentración de oxígeno disuelto en el tanque de sedimentación promedio registrada fue de  $5.04 \pm 0.21$  mg/L. Manteniéndose por debajo de 5.2 mg/L hasta el día 5 que se incremento por arriba de este valor, registrándose una disminución el día nueve incrementándose otra vez el día 10 del estudio, siendo las concentraciones mayores por la tarde. En contraste en el tanque de aeración los valores fueron relativamente constantes con promedios de  $5.17 \pm 0.23$  mg/L, tanto por la tarde como por la mañana, siendo las concentraciones ligeramente mayores por las tardes (gráfica 16 y 17).

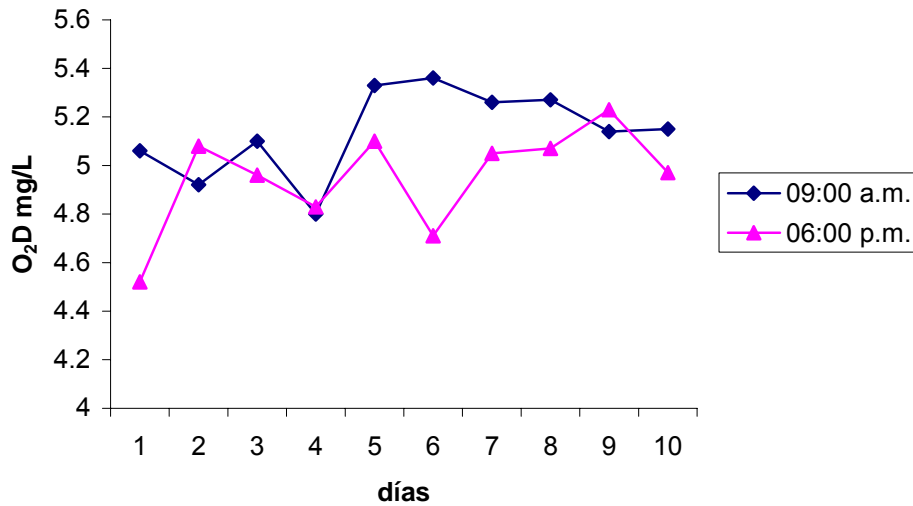
Se observó cierta variación de pH a lo largo del período analizado, a nivel de tanque de aeración en donde varia de 7.5 del día 1 al 7.97 por la tarde del día 3. En el tanque de aeración también hubo cierta variación aunque en menor grado destacando la disminución observada de la mañana del día 1 (7.8) a la del día 2 (7.2). El promedio general fue de  $7.31 \pm 0.20$  en el tanque de sedimentación y de  $7.26 \pm 0.18$  en el tanque de aeración (gráfica 18 y 19).

Por lo que se refiere a los compuestos nitrogenados, el amonio ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) se registró una concentración menor a los límites de sensibilidad del equipo  $<0$  mg/L a lo largo de los 10 días de estudio.

La concentración de nitrito-N en el tanque de sedimentación se mantuvo relativamente constante por las tardes con intervalos de 0.10 a 0.13 mg/L de nitrito-N, por las mañanas tendió a incrementarse en los primeros días manteniéndose relativamente constante hasta el día 6 donde disminuyó comenzando a incrementarse el día 8, disminuyendo el último día de estudio, el promedio del tanque de sedimentación fue de  $0.095 \pm 0.025$  mg/L.

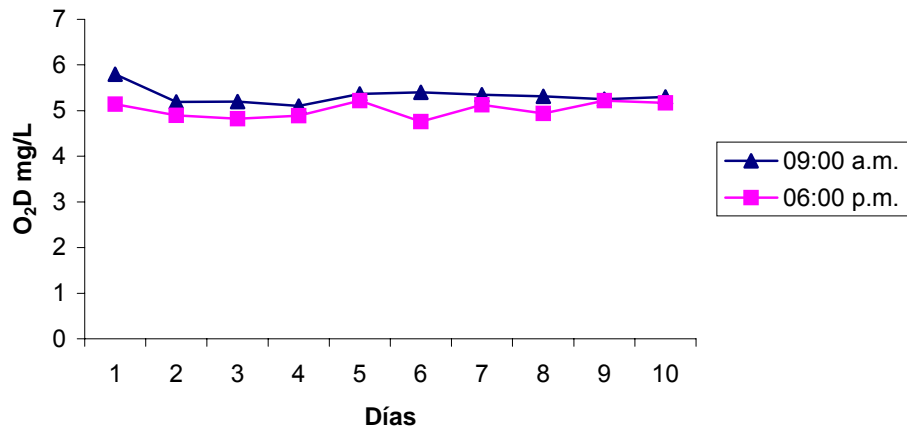
Las concentraciones en el tanque de aeración se comportaron de manera similar que en el tanque de sedimentación tanto en la tarde como en la mañana, siendo ligeramente menores con un promedio de  $0.099 \pm 0.023$  mg/L (gráfica 20 y 21).

### Oxígeno en tanque de sedimentación



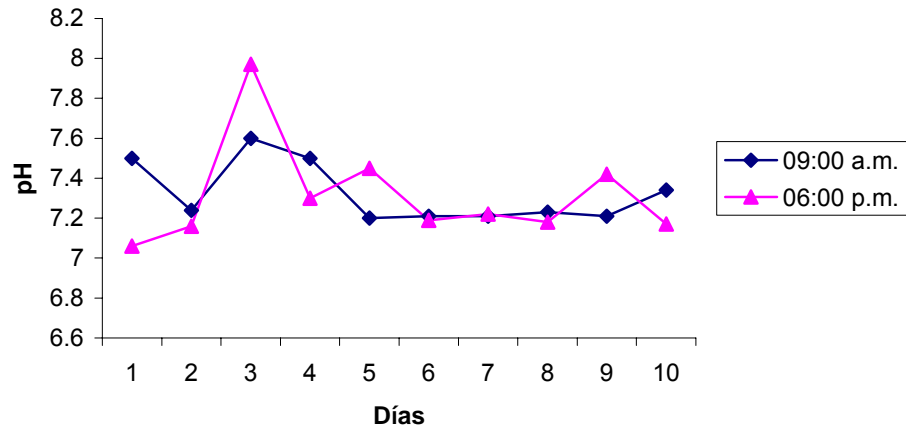
Gráfica 16. Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) en los sistemas experimentales mañana y tarde (T. sedimentación)

### Oxígeno en tanque aereación



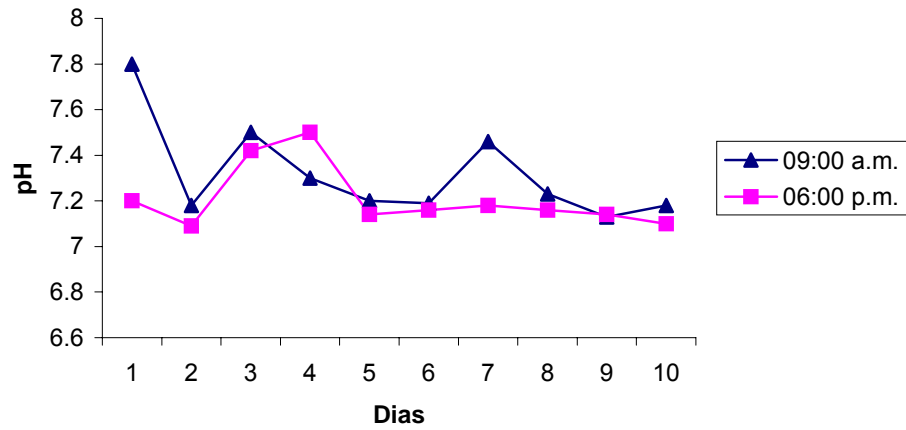
Gráfica 17. Concentraciones entre tiempo (días) y oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) en los sistemas experimentales mañana y tarde (T. aereación)

### pH en tanque de sedimentación



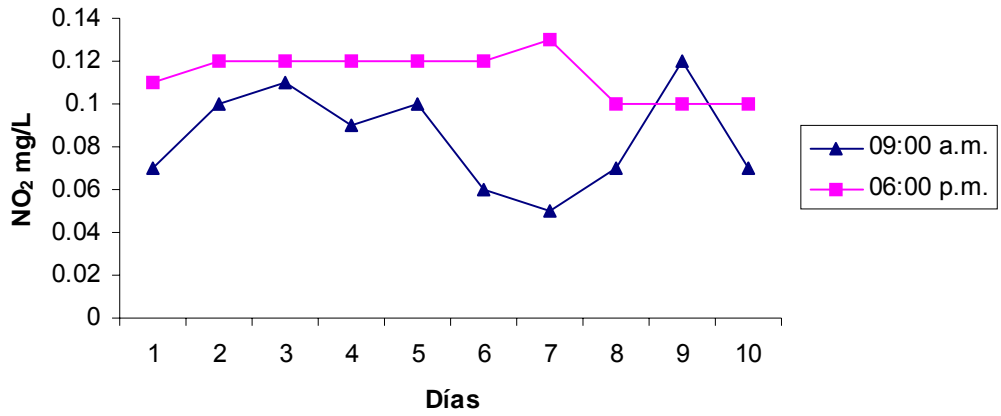
**Gráfica 18. Concentraciones entre tiempo (días) y pH en los sistemas experimentales mañana y tarde (T. sedimentación)**

### pH en tanque de aireación



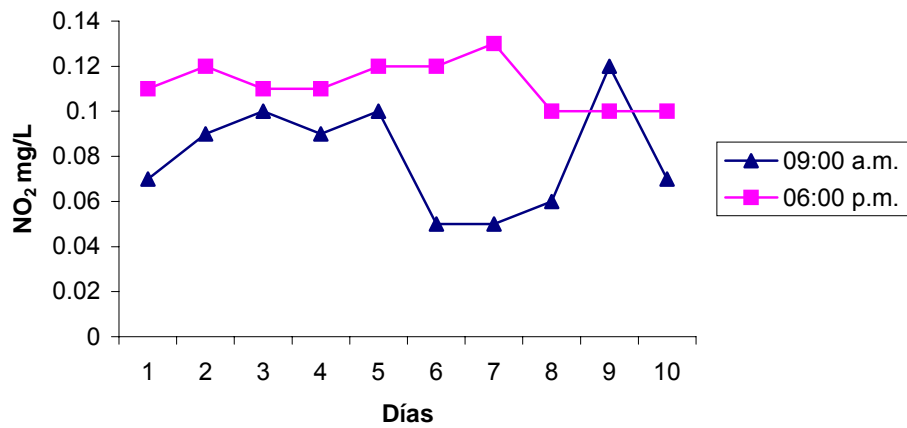
**Gráfica 19. Concentraciones entre tiempo (días) y pH en los sistemas experimentales mañana y tarde (T. aireación)**

### NO<sub>2</sub>-N en tanque de sedimentación



Gráfica 20. Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito-N (NO<sub>2</sub>-N) en los sistemas experimentales mañana y tarde (T. sedimentación)

### NO<sub>2</sub>-N en tanque de aereación



Gráfica 21. Concentraciones entre tiempo (días) y nitrito -N (NO<sub>2</sub>-N) en los sistemas experimentales mañana y tarde (T. aereación)

## Sistemas de recirculación

La información general técnica del sistema de recirculación prototipo se muestra en la tabla 4, con esta información se puede calcular la demanda de agua y los costos del gasto energético de los sistemas de recirculación; así como también con este resultado se tiene la capacidad para realizar todas las evaluaciones del sistema.

**Tabla 4. Información general del sistema de incubación y alevinaje de larvas.**

<b>Parámetro del sistema</b>	<b>Capacidad y cantidad</b>
Tipo de flujo	Unidireccional
Capacidad total del sistema	1782 litros
Tipo de bomba centrífuga	1/4" hp
Tasa del flujo del sistema	19.8 L/m
Tiempo de residencia hidráulica por canaleta	8.08 minutos
Longitud de tubería de 3/4"	4.20 m
Capacidad de tubería de 3/4"	8.82 litros
Longitud de tubería de 2"	1.20 m
Capacidad de tubería de 2"	13.57 litros
Tipo de medio de sustrato en el biofiltro	Tubos de plástico
Válvulas de 3/4"	5 pzas

### Resumen de resultados de calidad del agua en los tres experimentos

Una de las grandes ventajas de un sistema de recirculación de agua, es su alta efectividad en el tratamiento de la misma. Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas (5, 6 y 7), se pueden apreciar los parámetros fisicoquímicos que permanecen estables en el experimento II y III durante el desarrollo de los cultivos, por lo tanto se considera que no existieron alteraciones químicas que afectaron a los peces.

**Tabla 5. Calidad de agua registrada en el experimento I**

Parámetro	Valor promedio $\pm$ SD
Temperatura ( $^{\circ}$ C)	19.7 $\pm$ 1.04
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.33 $\pm$ 0.87
Potencial de Hidrógeno (pH)	7.9 $\pm$ 0.027
Sólidos suspendidos (mg/L)	-----
Amonio (mg/L)	0.31 $\pm$ 0.7
Nitritos (mg/L)	0.23 $\pm$ 0.16

**Tabla 6. Calidad de agua registrada en el experimento II**

Parámetro	Valor promedio $\pm$ SD Sitio I	Valor promedio $\pm$ SD sitio II
Temperatura ( $^{\circ}$ C)	20.66 $\pm$ 0.54	20.62 $\pm$ 0.53
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.71 $\pm$ 0.45	5.60 $\pm$ 0.47
Potencial de Hidrógeno (pH)	7.37 $\pm$ 0.18	7.28 $\pm$ 0.18
Sólidos suspendidos (mg/L)	-----	-----
Amonio (mg/L)	-----	-----
Nitritos (mg/L)	0.037 $\pm$ 0.014	0.029 $\pm$ 0.012

**Tabla 7. Calidad de agua registrada en el experimento III**

Parámetro	Valor promedio $\pm$ SD Sitio I	Valor promedio $\pm$ SD Sitio II
Temperatura ( $^{\circ}$ C)	22.14 $\pm$ 0.52	22.14 $\pm$ 0.52
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.04 $\pm$ 0.21	5.17 $\pm$ 0.23
Potencial de Hidrógeno (pH)	7.31 $\pm$ 0.20	7.26 $\pm$ 0.18
Sólidos suspendidos (mg/L)	0.35 mg/L	-----
Amonio (mg/L)	-----	-----
Nitritos (mg/L)	0.099 $\pm$ 0.023	0.95 $\pm$ 0.25

## Discusión

Con base en los resultados obtenidos, es posible establecer la diferencia entre los dos sistemas de cultivo empleados en la producción de larvas a nivel experimental. Aunque en el sistema de cultivo estático se realiza un recambio diario de agua de alrededor de un 60%, con el fin de mantener la calidad de agua en intervalos aceptables para el desarrollo de los organismos, se puede apreciar que los parámetros que más difirieron en los sistemas de recirculación son las concentraciones de amonio y las concentraciones de nitritos.

En cuanto a las concentraciones de amonio-N encontramos que en el experimento 1 (sistema estático) se registraron concentraciones de hasta 1.0 mg/L y un promedio de 0.31 mg/L; valor dentro de intervalos subletales para peces tropicales según Howells (1994), en tanto que Muir (1997) registra intervalos seguros a concentraciones <0.4 mg/L para trucha y <0.28 para bagre, mientras que en el experimento 2 y 3 en los sistemas de recirculación las concentraciones de amonio-N fueron prácticamente menores al límite de sensibilidad del equipo utilizado <0 mg/L, por lo que podemos establecer que los filtros biológicos en los sistemas de recirculación del experimento 2 y 3 son eficientes, en lo que se refiere a la remoción de amonio.

Las concentraciones de nitritos-N se mantuvieron relativamente estables en el experimento 2 y 3, en (sistemas de recirculación) con un promedio de 0.03 mg/L (experimento 2) parámetro muy por debajo del mínimo permisible según Meade, (1991), Piper, (1982), Lawson, (1995) y un promedio de 0.09 mg/L (experimento 3) niveles muy por debajo de los parámetros críticos, según los resultados podemos decir que son ligeramente mayores en el sitio I y ligeramente mayores por las tardes, cuando en el experimento 1 (sistema estático) comenzaron a elevarse drásticamente a partir del segundo día, llegando valores por encima del límite de sensibilidad del equipo (Hach) >0.50 nitrito-N mg/L ( $\text{NO}_2$  1.6 mg/L).

Este valor resulta ser ligeramente mas elevado que el intervalo mínimo permisible, si consideramos que el intervalo óptimo para nitritos según Howells (1994), Maede (1991), Piper (1982), Lawson (1995), debe ser menores a 1.0 mg/L ( $\text{NO}_2$ ); por lo que la concentración de nitrito podría tener efectos subletales en los organismos cultivados en los sistemas estáticos.

La tendencia según los resultados nos muestra que las concentraciones de nitrito-N en la entrada del filtro biológico son mayores que en la salida, con lo que es evidente el buen funcionamiento del filtro biológico.

El oxígeno disminuyó conforme pasaban los días del experimento 1 (sistema estático), manteniéndose en concentraciones promedio de 5.6 mg/L similares a las de los otros dos experimentos en sistemas de recirculación. De acuerdo a los resultados la tendencia de la concentración de oxígeno fue menor por las tardes en los tres experimentos y mayor en el sitio I en el experimento 2 y 3. Esto es debido al consumo de oxígeno que se presenta para abastecer las necesidades metabólicas básicas posteriores al termino de la alimentación diaria, además que la actividad metabólica tiene como resultado desechos sólidos y solubles (heces y alimento no ingerido) ambas fuentes producen un aumento en la concentración de la materia orgánica, esta requiere oxígeno para la descomposición bacteriana que se presenta causando con ello disminución en las concentraciones de oxígeno disuelto en los sistemas de recirculación por las mañanas.

La sobrevivencia en los experimentos 1 y 2 fue de un 100% en los días que duraron los dos experimentos, lo que nos establece que los organismos se desarrollaron adecuadamente en el experimento 1 (sistema estático) y 2 (sistemas de recirculación). Sin embargo tal y como ya se mencionó en el experimento 1, las concentraciones de nitrito-N llegaron ligeramente por arriba de los niveles permisibles y es probable que se hubieran seguido incrementando con el paso de los días con lo que se hubieran registrado problemas con la supervivencia de los organismos en el sistema estático.

De los resultados obtenidos en la comparación del experimento 2 y 3 , en cuanto a las densidades de carga máximas óptimas para este sistema de cultivo podemos definir que se comportaron de manera relativamente similares en cuanto a valores de oxígeno disuelto, pH y temperatura, los intervalos de amonio se mantuvieron al igual que el experimento 2 debajo de concentraciones <0 mg/L, las concentraciones de nitritos-N fueron mas elevadas pero por debajo de los parámetros tóxicos.

La tasa de eficiencia de remoción de nitrito se calcula con la siguiente formula:

$$NR = \left[ \frac{TAN_i - TAN_e}{TAN_i} \right] 100\%$$

En donde NR es la tasa de remoción de nitrito amoniacal total, TAN<sub>i</sub> y TAN<sub>e</sub> es nitrito amoniacal en afluente y efluente respectivamente. La tasa de remoción de nitrito-N fue de 0.083 mg/L en el experimento 3.

En cuanto a las densidades de carga que se manejaron en el experimento 2 (cada sistema con cinco canaletas, tres sistemas y 4885 larvas distribuidas en los tres sistemas) y el experimento 3 (un solo sistema con cinco canaletas y 4885 larvas, 977 en cada canaleta) podemos afirmar que el sistema del experimento 3 se comportó de manera eficiente en densidades de 12 larvas por litro, manteniendo en valores óptimos los parámetros de calidad de agua, la mortalidad que se presentó en el experimento 3 fue menor al 1%.

Los sólidos suspendidos totales (SST) producidos por el sistema de recirculación del experimento 3, fue de 0.35 mg/L, según Howells (1994) y Meade (1991) las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) deben ser <80mg/L, por lo que las concentraciones de SST no representan un riesgo para los organismos cultivados en los sistemas de recirculación.

Por diversas circunstancias no se pudo determinar el período de nitrificación de los sistemas de recirculación, por tanto se realizó un experimento complementario para poder determinarlo (Peñalosa-Camargo, en preparación). Bajo las condiciones experimentales empleadas la nitrificación completa se logra en un período de diez días cuando las concentraciones de desechos nitrogenados se comienzan a estabilizar.

### **Conclusiones y recomendaciones**

La utilización de los sistemas de recirculación (prototipos) utilizados para el cultivo del pez blanco en la etapa experimental, resultaron eficientes y permitieron el buen desarrollo de larvas de pez blanco a altas densidades de carga necesarias para la producción piloto comercial.

El manejo del cultivo a densidades de 12 larvas por litro (experimento 3) se desarrolló de manera óptima, coincidiendo con lo reportado en otros trabajos experimentales (Hernández- Gonzáles, en preparación).

La calidad de agua se mantuvo constante, debido al buen funcionamiento de los componentes de los sistemas de recirculación. Con base a los valores de concentración de amonio-N y a los valores de concentración de nitrito - N en el filtro biológico, se pudo observar que la calidad de agua (en el experimento 2 y 3) se mantuvo dentro de los niveles aceptables para el cultivo de la especie (Rosas, 1970).

Los resultados muestran que el filtro biológico es eficiente removiendo las sustancias toxicas disueltas en el efluente del sistema manteniendo los parámetros de calidad del agua dentro de los limites aceptables proveyendo las condiciones propicias para el buen desarrollo del cultivo de pez blanco en estos sistemas de recirculación, el periodo de activación del biofiltro se logra en 10 días.

La producción de sólidos suspendidos por el tanque de sedimentación fue de 0.35 mg/L muy por debajo de lo permisible, la sedimentación por gravedad como tratamiento primario es eficiente, sin embargo solo para partículas mayores a 100 micrones por lo que es recomendable implementar un sistema posterior al de la sedimentación por gravedad para eliminar los sólidos suspendidos menores a 100 micrones, como fraccionadores de espuma, medios granulares o sistemas de ozonificación.

Como es bien sabido los peces blancos son organismos fácilmente estresables y no toleran un manejo excesivo e inadecuado. Los sistemas de cultivo usados evitaron el estrés de los peces causados por el manejo, ya que a diferencia de los sistemas estáticos los de recirculación tienen la característica de mantenerse limpios con un mínimo de mantenimiento requerido, al reducir los costos de mano de obra.

## Introducción

La industria de la acuicultura está constantemente en expansión y ha sido favorecida por el éxito de la adaptación del cultivo comercial de nuevas especies, así como también por las altas tasas de retorno, como resultado de la producción intensiva de estas (Gasca-Leyva, 2002). El proceso de diseño juega una parte vital en el desarrollo exitoso de cualquier proyecto acuícola. Un proyecto exitoso requiere características biológicas satisfactorias, así como un sistema de producción adecuado y un análisis económico completo. En la práctica cada uno de estos tres elementos básicos debe ser definido en los términos de los otros dos. De esta manera un proceso biológico por si mismo no puede ser convertido en un desarrollo acuícola efectivo a menos que la producción se genere dentro de los límites económicos aceptables (Muir, 2002). El diseño y planeación acuícola requiere de expertos en áreas biológicas, ingenieriles y económicas entre otras disciplinas; dado que casi todas las discusiones sobre la planeación de los sistemas intensivos de producción acuícola se concentran en el diseño de estanques, sistemas de filtración, sistemas de aeración, sedimentación y la biología de las especies que se están cultivando. Además hay que enfocarse a los componentes de apoyo más importantes como son los sistemas de monitoreo, los sistemas de respaldo, los laboratorios, las instalaciones y los edificios, que son también importantes y en algunos casos indispensables para el éxito comercial, pero que se mencionan rara vez ( Timmons, 2002).

Todos estos componentes de apoyo incluyen todas las otras partes de un sistema intensivo que son necesarias para una operación rentable. Como mejor se diseñan, se integran y se administran estos elementos a menudo determinan si un sistema de cultivo sobrevive comercialmente o no. Muchos de estos sistemas son exclusivos de los sistemas de recirculación, pero comúnmente estos componentes de apoyo son ignorados al estimar los costos de producción del sistema de cultivo. Como consecuencia, los componentes de apoyo se instalan tardíamente durante la fase de construcción o como una resolución tardía posterior a una catástrofe.

Los componentes de apoyo para un sistema de producción intensivo es un reflejo del nivel de sofisticación de la acción recíproca entre la inversión del capital al contado contra los costos de operación diarios y otros numerosos parámetros (Wheaton, 1985).

Cada sistema de producción tendrá sus propias necesidades especiales, por tanto el ingeniero que diseña el sistema de cultivo debe incluir los sistemas de apoyo pertinentes para cualquier unidad específica de producción.

### **Preguntas básicas del diseño.**

En principio lo más importante es definir los factores básicos del diseño preliminar. Los siguientes puntos necesitan ser definidos claramente antes de que el diseño pueda ser desarrollado:

- ¿Qué se requiere y porque?
- ¿Cuáles son los objetivos generales?
- ¿Cuál es la especie y método de cultivo?
- ¿Cuáles son las restricciones biológicas?
- ¿Cuáles son las limitaciones técnicas y del sitio?
- ¿Cuáles son los límites de los costos y los financiamientos requeridos?
- ¿Cuál será la infraestructura y recursos compatibles?
- ¿Cuáles son los riesgos financieros y técnicos?
- ¿Cómo y por quien será desarrollado el proyecto y la construcción?

Probablemente el paso más importante en el proceso de diseño es el de identificación y selección del proyecto inicial. De cualquier forma aun los diseños más inteligentes y detallados no podrán rescatar un proyecto el cual sus conceptos básicos estén mal. Es mejor y usualmente más barato resolver los problemas del diseño en el plano que durante la construcción (Muir, 2002). En la tabla 8 se muestran los factores generales a considerar en proyectos de acuicultura.

**Tabla 8. Factores generales en proyectos de acuicultura.**

Factor	
Agua	Donde, como, calidad, variabilidad, fuente, costo
Terreno	Donde, área, topografía, suelo, costo, uso
Producto	Especie, control, requerimientos, riesgos, mercado, valor/calidad/fuente, período de cultivo
Clima	Variabilidad, riesgo, control, efecto sobre otros factores
Personal	Quien, cuantos, habilidades requeridas
Inversión	Cuanto, límites, precio/valor, fondos disponibles
Legislación	Permisos, control, restricciones, impacto

### **Estado de diseño preliminar inicial.**

Este es el estado en el cual los conceptos básicos son examinados por sus fundamentos biológicos, la viabilidad técnica y económica, en este las producciones al diseño pueden ser identificadas; algunos puntos útiles que se deben considerar son:

- Tener cuidado al identificar tan detalladamente como se pueda las producciones biológicas, económicas y técnicas; se debe estar seguro que estas producciones correspondan con los objetivos de la producción.
- Los criterios económicos por lo general son más estrictos que cualquier otro, estos normalmente son los límites más claros que se debe afrontar.
- Los elementos básicos del diseño en sí (sitio, edificios y sistemas), tienen que ser planeados de acuerdo a un tipo de especie y tipo de producción específica, por tanto el diseño tendrá que estar planeado de acuerdo a estas dos condicionantes.
- Aunque se tenga experiencia en acuicultura, los proyectos siempre requieren más tiempo y dinero del que se piensa, por lo que es necesario ser lo más realista posible y estar seguro que los factores críticos implicados estén bien identificados y entendidos (Muir, 2002).

## **Objetivos**

Diseño de una planta de producción de crías de pez blanco basándose en los requerimientos biológicos de la especie y la producción requerida. El proceso de diseño se dividirá en:

- a) Diseño formal de la planta.
- b) Diseño estructural constructivo.
- c) Diseño de instalaciones y servicios.

## **Materiales y métodos**

El diseño arquitectónico es un proceso complejo pues cada género del edificio posee diferentes estructuras espaciales y funcionales. La metodología que se utiliza en el proceso de diseño arquitectónico, se realiza por medio de diagramas y matrices; estos nos permiten organizar las ideas planteadas para la solución de un proyecto; además permiten organizar conceptos tales como el agrupamiento de espacios, zonificación de funciones, dimensión de espacios, circulaciones, forma del edificio, envoltura del edificio y respuesta al contexto.

Toda la información e ideas se plasman en matrices y diagramas dando forma y dimensión al proyecto. En este caso el ciclo reproductivo de los organismos y la capacidad de la producción planeada son los elementos que nos dictaminan el funcionamiento y dimensión de la planta de producción de larvas y juveniles de pez blanco (ver anexo 6.4).



## **Programa arquitectónico**

### **GOBIERNO (Área negra)**

1. VESTÍBULO
2. SALA DE DESINFECCION
3. OFICINA
4. SANITARIO

### **AREA DE PRODUCCIÓN (Área Blanca)**

1. AREA DE REPRODUCTORES
2. AREA DE INCUBACIÓN Y JUVENILES
3. AREA DE ALMACENAMIENTO Y PREVENTA DE JUVENILES
4. AREA DE CULTIVO DE ROTÍFEROS
5. AREA DE CULTIVO DE MICROALGA
6. CEPARIO
7. AREA DE CULTIVO DE ARTEMIA
8. LABORATORIO
9. REACTIVOS
10. SANITARIO

### **SERVICIOS (Área gris)**

1. CUARTO DE MAQUINAS
2. SUBESTACIÓN ELECTRICA
3. POZO PROFUNDO
4. ALMACEN DE ALIMENTO
5. ESTACIONAMIENTO
6. PATIO DE MANIOBRAS

## **Análisis de áreas**

El área negra es la zona en la cual el personal desarrolla funciones administrativas únicamente y esta tiene que estar totalmente aislada de la planta en cuanto a funciones y servicios; esta área esta compuesta por la oficina, el vestíbulo y el sanitario.

La zona blanca es el área restante a excepción del cuarto de maquinas debido a que en ésta se deben tener prácticas de bioseguridad que enfatizan la prevención de brotes de enfermedades infecciosas, no infecciosas y parasitarias, teniendo en cuenta los patrones de flujo y tráfico del personal, visitas y la ventilación de la planta. La sala de desinfección es el espacio de transición entre el área negra y área blanca y en ella el personal y los visitantes se deben cambiar de ropa y calzado, para evitar la introducción y distribución de patógenos a la planta (Landau, 1992).

En el área de reproductores se mantienen a los organismos adultos en tanques de cultivo, periódicamente se recogen los huevecillos fertilizados para llevar acabo su eclosión en las canaletas de la sala de incubación. Para el diseño del área de reproductores se dimensionó el área de acuerdo a la experiencia que se tiene en el manejo de los reproductores. Actualmente se manejan los reproductores en sistemas cerrados con tanques de cultivo de 4 metros de diámetro en los que se tienen 20 reproductores (10 hembras y 10 machos) que tienen un promedio de 3 desoves por semana. Considerando una disminución del 20% de huevecillos que no son fertilizados, que no eclosionan y posteriormente un 20% de las larvas no sobreviven en las primeras semanas, cada tanque nos daría un promedio de 3,840 organismos por mes. Para determinar el número de tanques de cultivo necesarios para la producción de 1 millón de larvas, se tomó en cuenta que la producción de cada una de estos tanques es de 3,840 larvas, considerando el uso del fotoperíodo controlado para tener una reproducción todo el año, se calculo una necesidad de 25 tanques de reproducción.

Teniendo el número de tanques y sus dimensiones es fácil determinar el área necesaria considerando una área adicional para la circulación, así como la cantidad de agua requerida para el sistema de recirculación, (ver anexo 6.4).

La siguiente área es la de incubación, en ella los huevos fertilizados se mantienen en los sistemas hasta su eclosión y posteriormente en los siguientes 25 días se realiza un desdoble de organismos, con la finalidad de mantenerlas a menores densidades durante dos meses, después de los cuales se trasladan al área de almacenamiento y preventa de juveniles (ver anexo 6.4).

Para el área de incubación se utilizan canaletas de cultivo de 90 Lts. cada una, durante los primeros 25 días se pueden mantener densidades de hasta 1,000 larvas por canaleta. Por tanto si la producción de larvas por tanque de reproducción es de 3,840, la producción de 25 tanques sería de 96,000 por mes, se necesitan 96 canaletas (19 sistemas) para almacenar esta cantidad de larvas por mes, (Ver anexo 6.4). Posteriormente a una edad de 25 días las larvas se pasan al área de alevinaje en donde se desdoblan a 500 larvas por canaleta, así que se necesitan 192 canaletas (38 sistemas) para esta área, en esta las larvas se mantienen por un período de 60 días (ver anexo 6.4).

El último estadio para la producción es el de almacenamiento y preventa de juveniles. En este espacio se utilizan tanques de 4 metros de diámetro. En estos tanques la densidad necesaria es de alrededor de 3 peces por litro, por lo que los tanques necesarios para la producción mensual de 96,000 larvas por mes es de 20 unidades (ver anexo 6.4). Los estadios tempranos son los más críticos en el cultivo de peces, desafortunadamente al proporcionar dietas artificiales a las larvas se presentan menores crecimientos y sobrevivencias que al proporcionar alimento vivo. En esta especie se les proporciona dos diferentes tipos de alimento vivo según el estadio y son rotíferos y artemias. Se planearon tres distintos espacios de producción de microalga, rotíferos y artemia, la producción se calculó según los datos obtenidos de la producción a nivel experimental (ver anexo 6.4).

### Matriz de acopio

Área	Nombre del local	Actividad	Mobiliario y equipo	Superficie m <sup>2</sup>	Instalaciones
Área negra	Vestíbulo	Distribuir a las demás áreas	2 sillas, 1 locker	9	Eléctrica
	Sala de desinfección	Control de bioseguridad	2 sillas, 1 locker	14	Eléctrica
	Oficina	Administración planta	1 escritorio, 1 librero, 3 sillas, 1 computadora	24	Eléctrica
	Sanitario	Necesidades fisiológicas	1 WC, 1 mingitorio, 1 lavabo	7	Eléctrica, hidráulica, sanitaria
Área blanca	Área de reproducción	Producción de huevo	26 tanques de 4m Ø	1000	Eléctrica, hidráulica, sanitaria
	Área de incubación y alevinaje	Desarrollo larvario	96 canaletas	149	Eléctrica, hidráulica, sanitaria
	Cuarto de rotíferos	Producción alimento	16 tanques	22	Eléctrica, hidráulica, sanitaria
	Cuarto de artemia	Producción alimento	16 tanques	22	Eléctrica, hidráulica, sanitaria
	Cuarto de microalga	Producción alimento	9 tanques	18	Eléctrica, hidráulica, sanitaria
	Área de preventa	Almacén larvas para venta	20 tanques	800	Eléctrica, hidráulica, sanitaria
	Laboratorio	Trabajo y microscopía	1 mesa central, 4 laterales, 1 tarja, 6 bancos, 4 vitrinas, 2 estantes	32	Eléctrica, hidráulica, sanitaria
	Sanitario	Necesidades fisiológicas	1 WC, 1 mingitorio, 1 lavabo	7	Eléctrica, hidráulica, sanitaria
	Cuarto de maquinas	Protección de equipos alimentación de servicios	1 planta de emergencia, 4 Blowers, 1 ozonificador, 1 filtro uv, 1 calentador, 1 hidroneumático, 1 compresor, 4 bombas, 1 tablero general, 1 autoclave	160	Eléctrica, hidráulica, sanitaria

### Matriz de relaciones

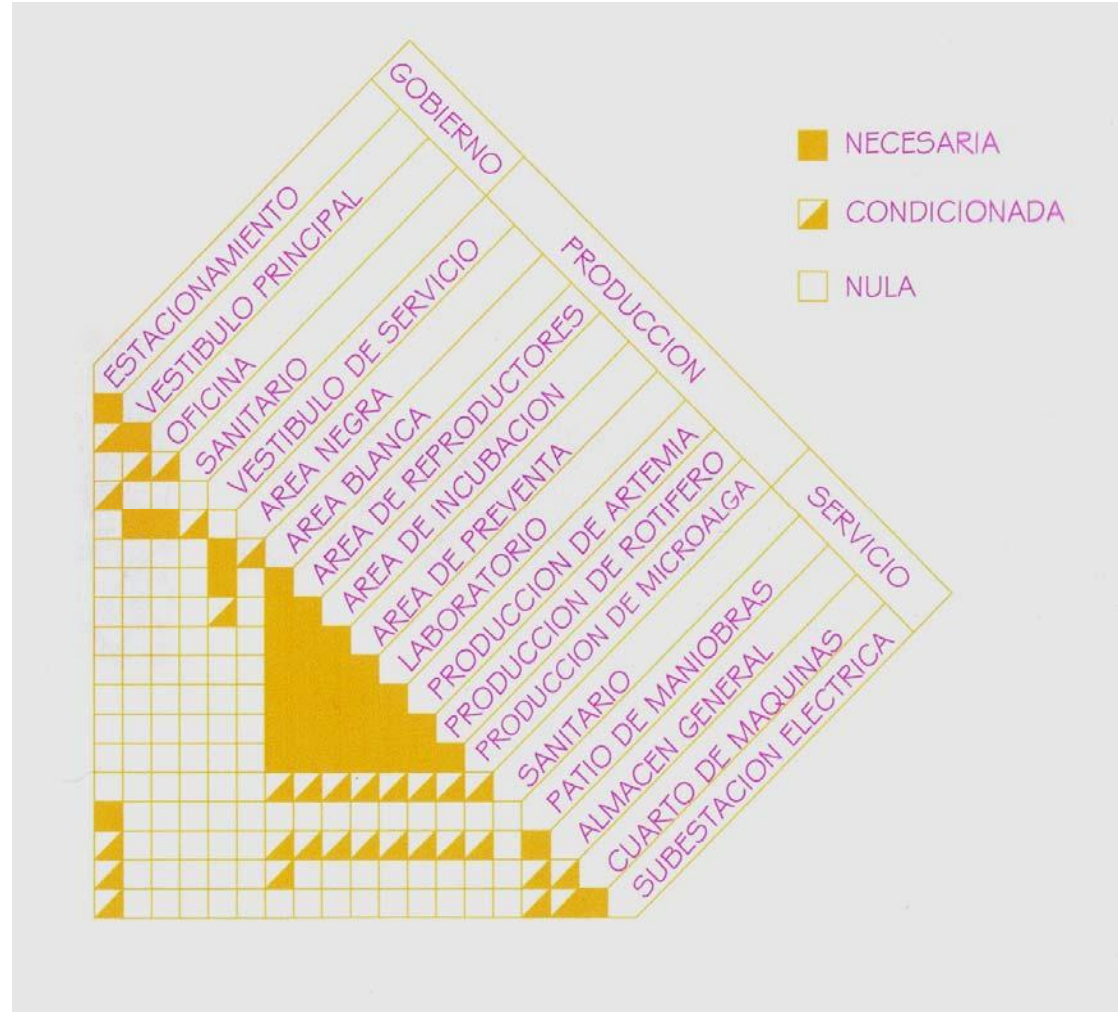
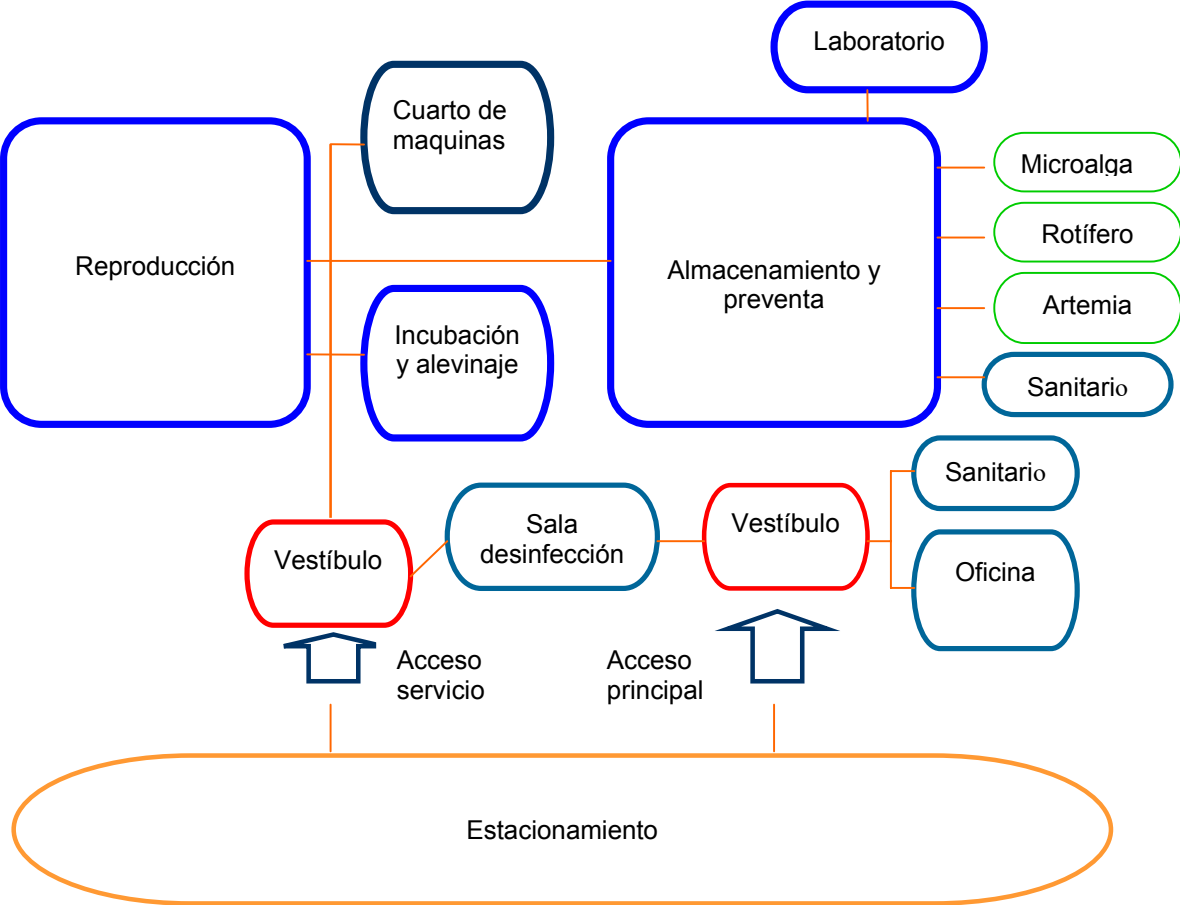


Diagrama de funcionamiento



## Guía de dimensiones para espacios acuícolas.

Componente / actividad	Espacio requerido	Notas
Espacio circulaciones Circulación mínima	0.60 – 1.00 m 0.20 m	Entre tanques, corredores pequeños En accesos ocasionales, cerrar válvulas, colecta de huevo
Corredores normales	1.50 – 3.00 m	Accesos normales, a laboratorios, circulaciones en general
Corredores de servicio	2.00 – 4.00 m	Para uso de servicio, mover muebles, mantenimiento
Altura trabajo	0.80 – 1.00 m	Escritorios, mesas de laboratorio, tarjas
Altura trabajo máxima	1.50 – 2.00 m	Estantes, libreros, Interruptores
Altura techo normales	2.40 – 3.00 m	Laboratorios, oficinas, sanitarios, bodegas
Altura en naves	3.00 – 5.00 m	Invernaderos, espacios para cultivo, espacios de tratamiento
Puertas normales	0.70 – 1.00 m	Accesos normales, oficinas, sanitarios, reactivos, laboratorios
Puertas de servicio	1.60 – 2.00 m	Hojas dobles, accesos a naves, servicios, mantenimiento
Puertas para vehículos	2.50 – 3.00 m	Estacionamientos, servicios, transporte de peces
Banquetas y rampas	0.30 – 0.50 m	Peatones, acarreo de insumos
Accesos para vehículos pequeños	0.50 – 1.50 m	Bicicletas, motos, vehículos pequeños
Puertas de emergencia	1.00 – 1.50 m	Una por cada mil metros cuadrados
Circulación mínima laboratorio	0.60 – 1.20 m	Áreas de trabajo, mesas de trabajo, mesas laterales
Altura falsos plafones	0.40 – 0.80 m	Para instalaciones eléctricas, drenajes, hidráulicos, ductos aire acondicionado

Fuente Muir, 2002

## Resultados

### (Planos)

## **Discusión**

Con este estudio fue posible establecer el proyecto ejecutivo de la planta de producción de larvas y juveniles de pez blanco. El tamaño de ésta fue definido por la cantidad de organismos producidos y los diferentes estadios del ciclo reproductivo de la especie. Se proyectaron tres áreas generales, administrativa, de producción y de servicios.

El área de producción se diseñó en base a tres áreas básicas, reproducción, incubación y alevinaje, de almacenamiento y preventa, complementadas por dos áreas de apoyo que son el laboratorio y el área de producción de alimento vivo.

Debido a que la información disponible para el cultivo de la especie proviene de los datos obtenidos en la etapa experimental, se basó en estos resultados para establecer las necesidades de cada una de las áreas del proyecto.

Se propuso un sistema constructivo simple, compuesto por una losa de cimentación de concreto armado y anclado a esta, una estructura metálica como soporte de la techumbre y del sistema propuesto como envolvente de la planta, este sistema constructivo se eligió debido a la facilidad y rapidez de instalación, además del costo relativamente bajo en comparación de otros sistemas constructivos mas complejos. Este tipo de estructura nos permite que los espacios sean dinámicos y se puedan realizar modificaciones o ampliaciones a la planta sin ninguna limitante y a bajos costos.

En cuanto a los servicios de la planta, se planeó un área de maquinas en donde se resguardaran todos los equipos, sistemas de tratamiento y fuentes de abastecimiento de energía.

La instalación eléctrica se diseñó en base al número de módulos de sistemas de recirculación, de tal manera que cada módulo se pueda regular para mantener un fotoperíodo individual. Las fallas de potencia eléctrica es probablemente la emergencia más común, por lo que se contempló un generador de emergencia.

El suministro de agua se diseñó en base a la cantidad de agua necesaria para la alimentación de todos los sistemas de cultivo, se diseñó una serie de cisternas para el almacenamiento de agua, de las cuales por medio de un sistema de hidroneumático se distribuirá a toda la planta.

La capacidad de la cisterna es de 90 m<sup>3</sup>, esto debido a que como mínimo se requiere una suficiente cantidad de agua para llenar los tanques de producción en caso de emergencia dentro de un tiempo razonable de 24 a 48 horas.

Las instalaciones de drenaje se diseñaron de manera independiente, ya que su tratamiento resulta distinto. Las aguas jabonosas se descargan directamente en un pozo de absorción, mientras que las negras se derivaran a una fosa séptica. Los drenes de desagües de los sistemas de cultivo se derivaran a un tratamiento de filtros biológicos para mandarlos posteriormente a la red municipal.

La red de aeración se generará por medio de blowers, la alimentación individual será por medio de mangueras de aeración y difusores.

El aire comprimido se utiliza en el laboratorio principalmente, para operar motores neumáticos, aparatos de succión entre otros. El aire comprimido se obtendrá por medio de un compresor de aire.

### **Conclusiones y recomendaciones**

El sistema constructivo propuesto (cimentación, techos y muros) se eligió con el fin de abaratar los costos de construcción así como el tiempo de ejecución de la obra.

Los acabados de muros y pisos serán de pintura epóxica resistente a la corrosión, debido a que usan aguas salobres en el cultivo de esta especie.

La instalación eléctrica será trifásica alimentada por una subestación eléctrica de 300 KVA y una plata de emergencia de 100 KVA. Las lámparas serán de vapor de sodio y mercurio debido a su eficiencia luminosa y degeneración de flujo luminoso.

La instalación hidráulica se derivará de las cisternas por medio de tubería de PVC a través de un sistema hidroneumático. Antes de llegar a los sistemas de cultivo pasará por medio de sistemas de desinfección (filtro de rayos UV, ozonificación).

El sistema de drenajes se dividirá en tres líneas para su tratamiento, la jabonosa que se derivara a un pozo de absorción, las aguas negras se tratarán en una fosa séptica y finalmente las de los sistemas de cultivo que se tratarán en un filtro biológico antes de desecharlas a la red municipal.

## Introducción

Como se ha mencionado anteriormente la industria de la acuicultura ha experimentado un continuo proceso de crecimiento en las últimas décadas. La demanda total del mercado de la producción en la acuicultura se ha incrementado de un 14.4% en 1989 a un 23% en 1995, por lo que hoy es considerada una de las industrias de producción de alimentos con la más grande tasa de crecimiento en el mundo (FAO, 2002). Parte de este crecimiento se debe a la aparición de nuevas especies para la producción las cuales han tenido un gran éxito comercial. Este éxito se debe de igual forma a que se han venido desarrollando modelos económicos en paralelo con la expansión de la industria (Allen & Johnston, 1976, Shang, 1991, Allen, 1984). Modelando las complejas interacciones entre los sistemas biológicos y económicos, es posible obtener las mas eficientes decisiones acerca de aspectos tales como composición de dietas, tasas de alimentación y el tiempo de la cosecha (León, 2001). La herramienta mas valiosa que tienen las personas que están involucradas en la acuicultura son los modelos económicos (Landau, 1992).

La World Commission on Environment and Development (WCED, 1987) provee una visión optimista de la habilidad del proceso de la acuicultura para contribuir con el desarrollo sustentable global. Un amplio rango de usos y especializaciones están implicados en el proceso de evaluación de una operación económica propuesta para la acuicultura (Bardach, 1997). La economía acuícola juega un papel importante en desarrollo sustentable de esta misma. Las factibilidades externas y socioeconómicas de los proyectos desarrollados en la acuicultura necesitan ser valoradas para guiar el desarrollo sustentable. Varias de las medidas públicas y privadas pueden ser usadas para reducir los factores negativos externos, sin embargo su viabilidad económica necesita ser valorada y el mejor resultado costo/ beneficio debe ser aceptado (Bardach, 1997).

La acuicultura sustentable requiere consideraciones adecuadas a las interacciones entre los factores socioeconómicos, biotecnológicos y ecológicos. También requiere un desarrollo balanceado en la producción, procesamiento, mercadeo y en materia de normas.

Es necesario en diversas circunstancias evaluar los proyectos o parte de ellos para determinar si son costeablemente redituables, si pueden ser medidos y si se necesitan cambios para poder hacer el proyecto aceptable (Landau, 1992). Como se mencionó en el capítulo de diseño el proceso de un análisis económico es una parte esencial del desarrollo del diseño ingenieril acuícola, ya que si un proyecto no es viable económicamente será declinado automáticamente sin llegar al desarrollo del diseño (Muir, 2003).

### **Opciones de inversión**

El interesado en un proyecto acuícola debe preguntarse qué producir, cómo producir, cuánto se debe producir y para quién se debe producir. La decisión está determinada por la disponibilidad de recursos (Financieros, técnicos, humanos, insumos, condiciones naturales, entre otras) para el montaje del proyecto (Rodríguez, 1993). La decisión de cómo producir, dependerá del acceso a los diferentes factores de producción acuícola dentro de los cuales vale destacar los técnicos y biotecnológicos. El costo de la tecnología juega un papel decisivo para la producción, de ahí la necesidad de seleccionar la tecnología más adecuada de acuerdo con la disponibilidad de los recursos. La cantidad a producir está determinada por la oferta y la demanda de una economía de mercado, de tal manera que a través de un análisis de estos factores, se caracteriza el aspecto económico del proyecto (Shang, 1981).

### **Selección de especies**

Un tema general para aquellos que entran al negocio de la acuicultura es la elección de especies de alto valor. La razón principal del por qué estas especies alcanzan altos precios en el mercado es que su abastecimiento es muy limitado (Muir, 2003). A medida que la acuicultura se desarrolla exitosamente, el cultivo de una especie en particular y su abastecimiento aumenta dramáticamente, el precio en el mercado puede disminuir en forma espectacular. Por tanto no se debe dejar guiar por estos escenarios aparentemente lucrativos (Allen, 1984) .

Para predecir mejor las tendencias de precios, se deben comparar los precios vigentes para una especie particular con algún otro tipo de producto derivado de la acuicultura como el salmón y el bagre de canal. Estas especies ofrecen al consumidor distintas alternativas revelando el intervalo de precios que el consumidor esta dispuesto a pagar por productos acuícolas. Los precios que se pagan en el centro de cultivo por el producto pueden disminuir a la mitad en un período de seis meses. Ha sucedido en el pasado y puede volver a suceder en cualquier momento dependiendo del abasto y las condiciones del mercado (Timmons, 2002).

### **Escala económicamente competitiva**

Se tiene que dimensionar la escala de la operación para ser competitivo en el mercado que se haya elegido. Si se va a comercializar de manera autónoma el producto permitirá competir en el nivel de precios al detalle, pero esta estrategia de comercialización demandara un compromiso importante para atender una serie de clientes pequeños (Shang, 1981).

Este tipo de escala requiere como mínimo volúmenes de orden de unas cuantas toneladas por año. Para poder elevar la producción se requieren hacer inversiones mayores para cubrir la infraestructura y el gasto de los equipos de procesamiento para llegar a estas producciones.

Es en este nivel de producción es donde comienzan a aparecer economías de escala, ya que se rentabilizan las opciones de elaboración propia de alimento, producción de oxígeno, generación eléctrica y utilización de subproductos de pescado (Landau, 1992). Tener una capacidad de producción de 45 toneladas por año es probablemente la peor posición en la que se pueda estar. Básicamente con este nivel de producción, se tiene una mayor cantidad de la que se puede comercializar en un segmento de clientes locales y se requiere de bastante personal y pagar importantes costos fijos para operar la empresa. Todos estos factores contribuyen a que los costos de producción globales sean altos. O bien se convierte en un empresario realmente grande o se mantiene como uno realmente pequeño y prácticamente todo el trabajo lo realiza el personal que opera la empresa (Timmons, 2002).

### **Objetivos**

Generar un análisis económico para evaluar la factibilidad de la producción piloto comercial del pez blanco.

- a) Aproximar el pago de la inversión.
- b) Determinar el valor presente neto.
- c) Determinar la tasa interna de retorno.

## **Materiales y métodos**

### **Evaluación de la viabilidad económica a nivel de la prefactibilidad**

El estudio de preinversión es un instrumento que ayuda a tomar decisiones sobre las propuestas de inversión que se están considerando. Para facilitar esta decisión los costos de inversión y de producción se han de organizar en forma clara, teniendo en cuenta que la rentabilidad de un proyecto dependerá en definitiva de la magnitud, la estructura de estos y de su oportunidad (Rodríguez, 1993).

Cuando se organizan los componentes de los costos de inversión y de producción, se debe prestar especial atención al momento en que esos gastos y costos se han de hacer efectivos, ya que ello influye en el flujo de fondos o liquidez del proyecto y su tasa de retorno (Curtis, 1993).

Una vez obtenidos los calendarios de la ejecución y producción del proyecto, dichos costos deben planificarse sobre una base anual de conformidad con los requerimientos del análisis de flujo de fondos. La evaluación de un proyecto en su etapa de prefactibilidad, corresponde a un juicio provisional acerca de las características tecnológicas y de mercado.

Se trata de encontrar lo más rápido posible las pautas para determinar si es viable el proyecto en el corto plazo y merece la pena elevarse a un nivel mayor (Allen, 1984).

### **Plan de inversión para la producción acuícola.**

Es conveniente elaborar una primera aproximación de la inversión requerida en instalaciones y equipos, cuya base de cuantificación va apareciendo en los diseños técnicos y biotecnológicos (Landau, 1992). Estas inversiones se consideran elementos que permanecerán durante la vida económica del proyecto y se pueden valorar (Stickney, 1994).

La mayor parte de las inversiones se realizan en el período denominado etapa de instalación o inversión, el cual puede establecerse en tiempos cronológicos para su desarrollo. Esta etapa comprende el capital fijo (activos fijos y diferidos) y el capital de explotación neto, donde el capital fijo está constituido por los recursos requeridos para construir y equipar el proyecto de inversión y el capital de explotación corresponde a los recursos necesarios para mantener una operación continua del proyecto (Curtis, 1993).

#### **a) Inversiones de activos fijos**

Se consideran activos fijos a la infraestructura necesaria para la operación de la empresa o granja (tabla 9), que comprende la adquisición o renta del terreno y la preparación, construcción de edificios, instalaciones y otras obras de ingeniería, compra de equipo y maquinaria de planta incluyendo equipos auxiliares (Allen, 1984). Los activos fijos están sujetos a depreciaciones (tabla 10). Este último concepto corresponde a un activo a lo largo del tiempo, que representa el desgaste de la inversión y equipamiento involucrado en la producción y se determina dividiendo el costo de un equipo entre su período de vida útil (Baca, 2001). A los terrenos no se les asigna una depreciación .

La siguiente tabla se puede tomar como una primera aproximación para establecer las inversiones que correspondan al tipo de cultivo seleccionado.

**Tabla 9. Algunos conceptos de inversión fija para una granja acuícola**

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario	total
Limpia, trazo y nivelación				
Cimentación				
Instalación hidráulica y sanitaria				
Estructura				
Herrería				
Cancelaría				
Instalación eléctrica				
Pisos				
Acabados				
Obra exterior				
				<b>INVERSIÓN TOTAL</b>

**Tabla 10. Tabla de depreciaciones**

Componentes del sistema	Tiempo de vida equipo	Costo unitario	Unidades	Importe	Depreciación
					<b>DEPRECIACIÓN TOTAL</b>

### **b) Equipo de servicios**

Los equipos de servicios corresponden a aquellos elementos necesarios para manejar, controlar y reproducir las condiciones previstas, en cuanto a lo estipulado sobre ingeniería conceptual para el cultivo seleccionado del proyecto (Muir, 2003).

Estos equipos a su vez mantienen la depreciación dependiendo de la vida útil que cada uno tiene en el proceso productivo. Se pueden destacar maquinaria, equipo, accesorios, herramientas, vehículos, infraestructura de servicios de apoyo (agua, luz, energía, teléfono), bombas, balanzas, herramientas, motores, aparejos de pesca, equipos de medición (alcalinidad, oxígeno), termómetros, canastas, entre otros (Rodríguez, 1993).

### **C) Capital de trabajo o capital de explotación neto**

Corresponde a los recursos financieros necesarios para la operación de la granja, en virtud de su plan de producción. Está constituido por los activos corrientes (cuentas por cobrar, existencias, efectivo de caja) menos los pasivos corrientes (cuentas por pagar) (Rodríguez, 1993). Se deben cuantificar los montos de las partidas que sean necesarias para iniciar y mantener la continuidad de la producción (Muir, 2003). Esto debe calcularse para un ciclo productivo que puede variar en el tiempo de acuerdo con la especie y el tipo de cultivo y solo recuperable a la liquidación del proyecto.

El costo total de la inversión para la prefactibilidad se define como la sumatoria de las inversiones fijas, equipo y material de trabajo.

### **Plan de presupuesto para la operación**

La producción obtenida para una granja, independientemente de la estructura del mercado en el que se encuentre, puede ser descrita en función de los recursos que ella utiliza. El volumen de la producción será mayor o menor dependiendo del volumen de los recursos que se empleen (Muir, 2003). Los equipos, tamaños y la ingeniería de diseño definen genéricamente la capacidad instalada de la granja acuícola. Las condiciones físicas de la producción, el precio de los recursos y la eficiencia económica del productor, determinan conjuntamente el costo de la producción de una empresa. Es así como a través de plantear ecuaciones generales, se pueden orientar y cuantificar las relaciones monetarias de la operación que a su vez ofrecen las alternativas combinadas para la producción (Shang, 1981).

Se puede decir que los bienes fijos y variables se convierten en costos fijos y variables a través de los valores monetarios. Los costos fijos incluyen todas las formas de remuneración o obligaciones resultantes del mantenimiento de los recursos correspondientes (Pappas, 1988).

Los costos variables provienen de todos los pagos dirigidos a los recursos, que varían directamente en función del volumen de producción de la granja. Estos últimos se modifican en función de las cantidades de los factores variables empleados. Como las cantidades producidas varían directamente en función del volumen de los factores variables, se puede admitir que los costos variables se modifican directamente en función del nivel de producción. La adición de los costos fijos y variables forman el costo total de producción (Baca, 2001).

Desde el punto de vista de la prefactibilidad y considerando la exposición teórica, se puede elaborar un plan de egresos e ingresos para observar estos a corto y mediano plazo.

### Egresos

Los egresos corresponden a los gastos y costos necesarios para operar durante el proceso productivo. Se deben tener en cuenta entre otros, materias primas e insumos, mantenimiento, gastos de oficina, adquisición de semilla, fertilizantes, combustibles, lubricantes, depreciación, empaques fletes entre otros (tabla, 11).

**Tabla 11. Estimación de costos variables en prefactibilidad para un nivel de producción predeterminado**

Concepto	Unidad de medida	Cantidad	Costo unitario	Total
Semilla				
▪ postlarva				
▪ alevines				
Insumos				
▪ fertilizante				
▪ alimento				
▪ energía eléctrica				
▪ teléfono				
▪ gasolina				
▪ agua				
Otros costos				
▪ miscelánea				
▪ consumibles oficina				
▪ Reactivos				
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>				

Estos egresos pueden clasificarse como costos fijos, variables y totales (Rodríguez, 1993). Podemos definir el costo fijo total como la suma de los costos fijos explícitos a corto plazo y al los costos implícitos (gastos generados dentro del mismo proyecto) en que incurre el empresario. En otras palabras es el costo que permanece constante a una determinado nivel de producción (Stickney, 1994).

Por costo variable total se entiende a la suma de las cantidades empleadas de cada uno de los insumos variables, consumidos en el proceso productivo. Es decir, es aquel costo que cambia a medida que aumenta o disminuye el nivel de producción a corto plazo.

Por costo total se define la suma del costo variable total y el costo fijo total en el corto plazo (Curtis, 1993).

### **Ingresos**

Los niveles de ingreso de una granja acuícola , están supeditados a los precios del mercado y al volumen de producción, constituyendo una fuente de fondos en la empresa. Dentro de los ingresos generalmente se incluyen las ventas de productos intermedios generados por la biotecnología, la venta de productos terminados para el consumo, aportes del capital bien sean del acuicultor o créditos y otras fuentes de financiamiento.

La estimación de los ingresos se derivan de la venta de los productos objeto de explotación, cuyo monto dependerá del precio que se cotee por su tamaño, presentación y de los productos en el mercado al que se destina la producción.

Debe tenerse en cuenta que los ingresos se definen como la cantidad producida multiplicada por el precio unitario del producto. El ingreso bruto debe incluir las ventas en efectivo y a crédito, calculando con base al precio del mercado (Allen, 1984).

El resumen de estos conceptos se sintetiza en la siguiente tabla.

**Tabla 12. Costos, ingresos y beneficios del sistema de cultivo (estado estacionario)**

Ingresos		
Costos de operación	Ventas anuales	_____
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Costos directos           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alevines</li> <li>- Alimento</li> <li>- Medicamentos</li> <li>- Energía</li> <li>- Mercadeo</li> <li>- Otros costos</li> </ul> </li> </ul>		_____ _____ _____ _____ _____ _____ _____
	TOTAL COSTOS DIRECTOS	_____
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Costos fijos           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trabajo (dirección técnica)</li> <li>- Trabajo (Empleados)</li> </ul> </li> </ul>		_____ _____ _____
	TOTAL COSTOS FIJOS	_____
	COSTOS TOTALES	_____
Costos totales de operación		_____
Beneficios brutos		_____
Depreciación		_____
Beneficios netos		_____
Costos de producción		_____

### **Evaluadores económicos y financieros preliminares**

La evaluación mide los resultados obtenidos en términos de los objetivos señalados en la etapa de planeación y formulación del proyecto. Es evaluar proyectos con fines de lucro y de negocio, su objetivo es orientar económicamente al acuicultor frente a una posible inversión. La prefactibilidad se refiere a la evaluación preliminar para todo el conjunto financiero que forma la inversión total (Baca, 2001).

El objeto de la evaluación económica y financiera es identificar el criterio de inversión mediante el rendimiento financiero del capital, es decir, las utilidades (Muir, 2003).

Debido a que el dinero puede ganar un cierto interés cuando se invierte por un período dado, es importante reconocer que un peso que recibe en el futuro valdrá menos que uno que se tenga actualmente. Esta condición de diferencia obliga a elegir, para analizar la relación capital invertido / utilidades, los métodos que consideren el valor del dinero a través del tiempo, permitiendo trasladar y comparar, en cualquier período, los valores de los flujos del proyecto (Rodríguez, 1993).

De tal manera que con la prefactibilidad, se busca conocer la viabilidad financiera y la aceptabilidad económica del proyecto como inversión.

#### **a) Aproximación al pago de la inversión**

La aproximación al pago de la inversión es un método simple el cual estima el período de tiempo requerido para que la inversión inicial se pague por si misma, esto es el número de años requeridos para que el inversionista cubra la inversión inicial de los flujos de efectivo neto (ganancias netas).

La aproximación al pago de la inversión es fácil de calcular y nos puede guiar en estimar como se comporta nuestra inversión en un periodo de tiempo, cuales son las ganancias en ese mismo periodo y si es redituable según los años en los que recuperaremos nuestra inversión, se muestran los detalles en la siguiente tabla (Curtis, 1994).

**Tabla 13. Aproximación al pago de la inversión**

<b>Año</b>	<b>Inversión</b>	<b>Costos de operación</b>	<b>Ingresos</b>	<b>Flujo de efectivo neto</b>	<b>Flujo de efectivo acumulado</b>
1					
2					
3					
4					
5					

**AÑO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN**

#### **b) Beneficio / costo**

La aceptabilidad del proyecto como inversión viable, se da mediante el indicador beneficio / costo, que por su mensurabilidad hace del proyecto una inversión aceptable económicamente. Cuando este indicador estimado en un valor presente neto (VPN) es superior a la unidad, según criterio y primera opción del evaluador merece elevarse el estudio a factibilidad económica (Rodríguez, 1993).

#### **c) Valor presente neto**

La evaluación mediante el valor presente neto (VPN), es mejor para el proyecto que tiene un valor actualizado, dando una medida de ganancias totales, la cual se puede tomar como una medida de rentabilidad financiera del proyecto (Tabla 14). Si el VPN resulta con un valor negativo, el proyecto podrá descartarse. Sin embargo ante situaciones de incertidumbre (como la fluctuación de las tasas de interés, devaluación, entre otros.) deberán considerarse otros indicadores de evaluación cuantitativos y cualitativos (Baca, 2001).

**Tabla 14. Valor presente neto**

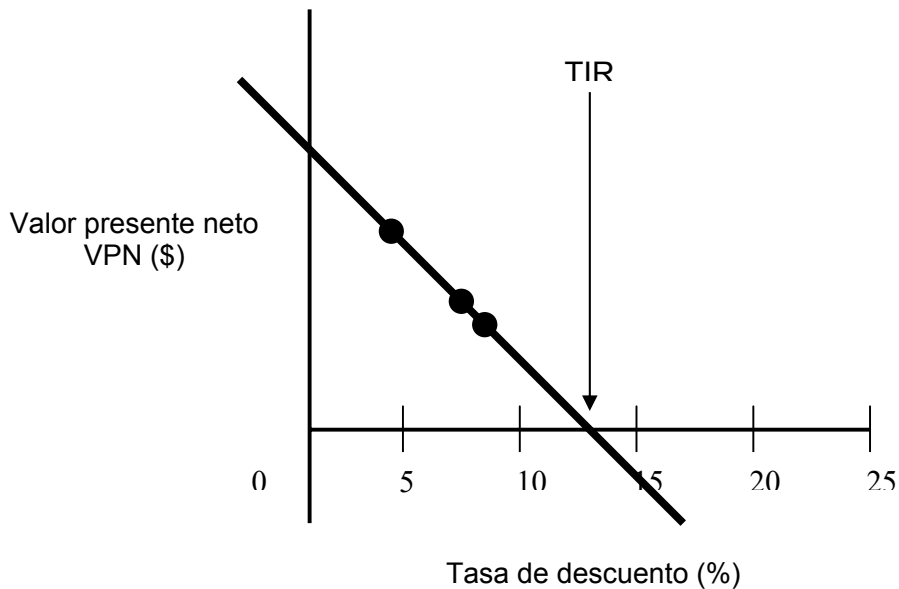
Año	Flujo neto de efectivo	Factor de descuento	Tasa de descuento _____%	
			Flujo descontado	Flujo acumulado
1				
2				
3				
4				
5				

**VPN**

**d) Tasa interna de retorno**

Otro indicador es la tasa interna de retorno (TIR), la cual es alcanzada cuando el VPN es cero. Es una medida de evaluación para todo el conjunto financiero que forma la inversión total en la prefactibilidad (gráfica 22). Se puede decir que si la tasa de interés del proyecto es mas alta que la del mercado o mas alta que otras alternativas de producción, el proyecto objeto de análisis tiene preferencia y merece la pena llevarse a la factibilidad económica, en la siguiente gráfica se muestra un ejemplo (Pappas, 1988).

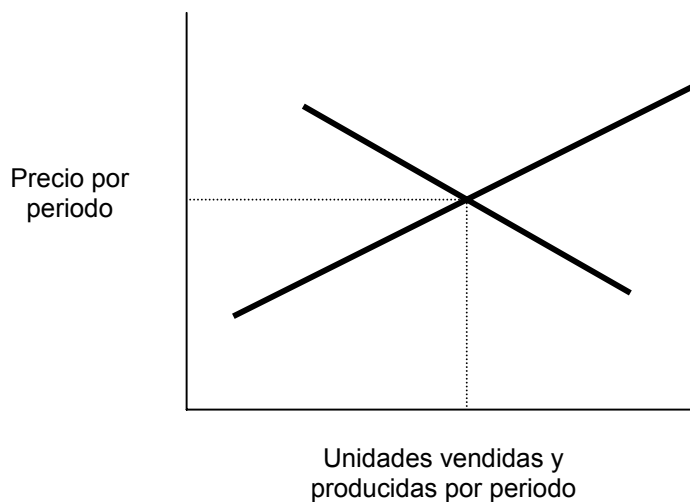
**Gráfica 22. Tasa interna de retorno TIR**



### e) Punto de equilibrio

Por ultimo para establecer la capacidad mínima y máxima de producción es conveniente apoyarse en el perfil tecnológico, que aportara volúmenes necesarios de producto, para que el ingreso marginal sea igual al costo marginal, dando como resultado un beneficio económico igual a cero (gráfica 23). De esto es posible obtener el nivel de producción necesario para operar sin ganancias ni pérdidas, denominado punto de equilibrio o punto muerto empresarial (Rodríguez, 1993).

**Gráfica 23. Punto de equilibrio**



### **Resultados**

#### **Costos de inversión**

Determinar la inversión inicial es la base para una evaluación económica, esta comprende la adquisición de todos los activos necesarios para iniciar las operaciones de la empresa. En este caso se realizó un análisis de costos de la obra civil, equipo, mobiliario, compra de alevines y maquinaria.

## Costos de inversión obra civil

<b>Presupuesto</b>			
Proyecto: Nave de produccion de pez blanco			
<b>Preliminares</b>			
1.00		Proyecto arquitectonico *	40,500.00 40,500.00
<b>Cimentacion</b>			
75.00	m3	Excavacion a mano hasta 2.0 mts material tipo II	169.12 12,683.86
60.00	hr	Limpieza y nivelacion con retro excavadora 3075 m2	187.80 11,268.00
232.00	ml	Dala 4 var 3/8", estribos 1/4 @ 30cm, 20x40cm concreto f'c=200kg/cm2	315.75 73,253.44
075.00	m2	Piso concreto armado f'c=150 kg/cm2, de 8cm, electro malla 6-I premezclado	175.43 539,432.80
075.00	m2	Pulido de piso de concreto, con pasta de cemento	39.93 122,774.72
<b>Instalacio Hidraulica y Sanitaria</b>			
9.00	pz	Registro sanitario 40x60 cm con tapa	742.50 6,682.50
48.00	ml	Conduccion tuberia CU 1/2" (13mm) tipo M	22.00 1,056.05
24.00	ml	Conduccion tuberia CU 3/4" (19mm) tipo M	35.09 842.17
24.00	ml	Conduccion tuberia CU 1" (25mm) tipo M	63.39 1,521.39
298.00	ml	Conduccion tuberia CU 1 1/2" (38mm) tipo M para agua	165.40 49,290.50
298.00	ml	Conduccion tuberia CU 1 1/2" (38mm) tipo M para aire	
113.00	ml	Conduccion tuberia PVC 4" (101mm)	66.46 7,510.32
24.00	ml	Conduccion tuberia PCV 2" (51mm)	20.66 495.86
1.00	sal	Cuadro de medicion	100.25 100.25
1.00	sal	Acometida Cisterna-Tinaco	74.43 74.43
2.00	sal	Bomba centrifuga de 3/4 hp.	1,699.83 3,399.65
1.00	sal	Salida Tinaco (no incluye tinaco)	322.24 322.24
1.00	sal	Calentador de paso agua HESA 2 servicios	3,561.18 3,561.18
7.00	sal	Tarja acero inox MARK 60x180cm	1,157.60 8,103.17
2.00	sal	Lavabo	549.51 1,099.02
4.00	sal	WC y migitorio	941.13 3,764.50
5.00	sal	Coladera cespul bote 4x2"	475.43 2,377.17
4.00	sal	Coladera de patio bronce 20x20cm	114.57 458.30
1.00	sal	Linea de llenado Tanque estacionario	613.49 613.49
1.00	sal	Tanque estacionario	2,157.65 2,157.65
<b>estructura</b>			
620.00	m2	Galvatecho 28/28 1" color arena	415.45 1,088,490.53
77.00	ml	Caballete liso	190.22 14,646.56
237.60	ml	Goteron perimetral	201.15 47,793.24
140.00	pz	Empaque de espuma plastica "Closure superior"	20.93 2,929.50
144.00	pz	Pija de 3.5" con Clip de fijacion para cubierta	9.72 30,559.68
252.81	rollos	Sellador extruido en cinta.	59.54 15,050.87
663.60	m2	Monomuro 1.5" cal 26/26	435.65 289,094.02
159.13	pz	Canal U 1.5"	155.79 24,791.38
18.00	pz	Esquinero recto interior	153.63 2,765.34
18.00	pz	Esquinero recto exterior	223.97 4,031.37
119	pz	Armadura secundaria	1,977.86 235,365.38
24	pz	Armadura principal	2,767.22 66,413.33
32	pz	Columna PTR 4x3" x 3.2mm L=3.00 con placa base 1/4"	713.77 22,840.79

		<b>Muros</b>			
541.13	m2	MURO TBR 13-635-13 A 61 cal 26 WR dos caras, con zoclo durock	250.51	135,555.89	
		<b>Instalacion electrica</b>			
52.00	m2	Contacto doble polarizado 127v	conduit pared delgada	362.15	18,831.60
44.00	m2	Contacto doble polarizado 220v	conduit pared delgada	396.17	17,431.31
36.00	m2	Apagador	conduit pared delgada	385.79	13,888.49
4.00	m2	Salida telefoni 3 pares	conduit pared delgada	512.18	2,048.71
3.00	m2	Salida para red con Cable UTP Par 5	conduit pared delgada	517.33	1,551.99
3.00	m2	Centro de carga 12 circ SDQO312L125	bifasico	2,474.52	7,423.57
36.00	m2	Interruptor termomagnetico 20 amp		171.75	6,183.14
3.00	m2	Varilla Copper well 3.00 m con conector	certificada	441.09	1,323.28
1.00	m2	Acometida ( Base para medidor Bifasico +tubo 1.5" de 3 m +Mufa)		1,139.31	1,139.31
88.00	m2	Gabinete 2x75 w envolvente con difusor		513.00	45,144.00
		<b>Pisos</b>			
73.00	m2	Piso RIO 31.5x31.5cm, a hueso (3mm), INTERCERAMIC		216.00	15,768.00
54.00	ml	Zoclo cerámico de 7cm, modelo RIO blanco concho		37.80	2,041.20
		<b>Pintura e impermeabilizante</b>			
1,082.25	m2	Vinimex blanco		22.71	24,579.26
1.00	m2	Pintura ESMALTE 100 en estructuras y perfiles		21.72	21.72
1.00	m2	Pintura ESMALTE 100 en superficie lisas		27.52	27.52
		<b>Canceleria</b>			
12.00	pz	Multipuerta metalica chapa intercomunicacion Segurex de Yale		1,147.50	13,770.00
1.00	pz	Puerta al 3" con vidrio claro de 6mm		3,847.50	3,847.50
4.00	pz	Puerta de herreria exterior		7,559.73	30,238.92
36.00	pz	Ventana aluminio blanco 60 x 60 cm		1,147.50	41,310.00
			Sub total	<u>3,120,240.07</u>	
			15% iva	<u>468,036.01</u>	
			<b>TOTAL \$</b>	<b>3,588,276.08</b>	

### Costo y depreciación de equipo

Componentes del sistema	Tiempo de vida del equipo	Costo unitario	Unidades	Importe	Depreciación
Tanques	15	2,350.00	50	117,500.00	7,833.33
Canaletas	20	950.00	128	121,600.00	6,080.00
Blowers	5	15,000.00	4	60,000.00	12,000.00
Planta de emergencia	10	197,000.00	1	197,000.00	19,700.00
Bombas	5	4,500.00	24	108,000.00	21,600.00
Hidroneumático	5	18,000.00	1	18,000.00	3,600.00
Alimentadores	5	840.00	44	36,960.00	7,392.00
Tanques de microalga	15	600.00	15	9,000.00	600.00
Tanques de rotífero	15	600.00	15	9,000.00	600.00
Tanques de artemia	15	600.00	15	9,000.00	600.00
Tubería PVC	10	50,000.00	lote	30,000.00	3,000.00
Caldera	5	20,000.00	1	20,000.00	4,000.00
Cisterna	30	40,000.00	1	40,000.00	8,000.00
Almacén alimento	20	19,800.00	1	19,800.00	1,980.00
Invernadero alimento vivo	10	14,000.00	1	14,000.00	2,800.00
Miscelánea	1	4,500.00	1	4,500.00	4,500.00
Transformador	30	130,000.00	1	130,000.00	4,333.33
<b>TOTAL</b>				<b>944,360.00</b>	<b>108,618.66</b>

### Costo de adquisición alevines

#### COSTO DE ALEVINES

SE NECESITAN 500 PARA QUE SEAN REPRODUCTORES EL AÑO 1

Cantidad de peces	500.00
Alevín pesos/unidad	5.00
<b>Costo de alevines</b>	<b>2,500.00</b>

### **Supuestos técnico económicos para tasar el estado estacionario de costos y beneficios**

Para determinar estos supuestos nos basamos en los datos obtenidos durante la producción experimental, debido a que estos son los únicos datos que se tienen de la producción de pez blanco. Se calculó la cantidad de insumos para la producción promedio de 19,000 peces por mes (ver anexo 6.5).

<b>Insumos para la producción por mes</b>		
<b>GASTOS POR MES PARA LA PRODUCCION DE PEZ BLANCO</b>		
CANTIDAD	CONCEPTO	COSTO
6	Bolsas de leche de soya	84.00
2	kilos de Bayfolan (fertilizante)	131.10
20.8	Bultos de sal (50 Kg)	1,287.50
4	Bolsas de levadura (250 g)	100.00
8	Litros de cloro	40.00
528 g	Hidróxido de sodio	66.42
400 g	Tiosulfato de sodio	106.08
8	Bolsas de quiste de artemia (450 g)	2,688.00
	El promedio de los peces que se producen en la planta por mes es de	<b>19,388.00</b>

## Estado estacionario de costos y beneficios

---

### MODELO BASE

---

Análisis financiero para la producción de 1,000,000 de larvas de pez blanco /año

#### COSTOS DE INVERSION

Obra Civil	3,588,276.08
Equipo	944,360.00
Compra alevines	2,500.00
Obra exterior	22,500.00
<b>Total costos de inversión</b>	<b>4,557,636.08</b>

#### COSTOS DE OPERACION

##### Costos variables

Alimento	15,605.76
Soya	6,048.00
Fertilizante	9,439.20
Sal	5,529.60
Levadura	7,200.00
Cloro	2,880.00
Hidróxido	4,569.60
Tiosulfato	7,488.00
Artemia	193,534.27
Electricidad	209,400.00
Otros costos	10,000.00
<b>Total costos variables</b>	<b>471,694.43</b>

##### Costos de fijos

Reparación y mantenimiento	91,152.72	2% costo de inversión
Trabajo	312,000.00	
<b>Total costos fijos</b>	<b>403,152.72</b>	

**Costos totales** **874,847.15**

<b>Ingresos brutos</b>	4,125,152.90	ingreso por ventas - costos totales
<b>Depreciación</b>	108,618.66	Costo equipo / años de vida útil
<b>Ingresos netos</b>	4,016,534.30	ingreso bruto-depreciación
<b>Costos de producción</b>	0.87	Costos totales
<b>Costos de comercialización</b>	5.00	Costo de producción + indirectos
<b>Ingresos por ventas</b>	5,000,000.00	

---

## Aproximación al pago de la inversión

APROXIMACIÓN SIMPLE AL PAGO DE LA INVERSION					
Año	Inversión	Costos de operación	Ingresos	Flujo de efectivo neto	Flujo de efectivo acumulado
0	-4,557,636.08			-4,557,636.08	-4,557,636.08
1		-874,847.15		-874,847.15	-5,432,483.23
2		-874,847.15	5,000,000.00	4,125,152.85	-1,307,330.38
3		-874,847.15	5,000,000.00	4,125,152.85	2,817,822.47
4		-874,847.15	5,000,000.00	4,125,152.85	6,942,975.32
5	-256,960.00	-874,847.15	5,000,000.00	3,868,192.85	10,811,168.17
6		-874,847.15	5,000,000.00	4,125,152.85	14,936,321.02
7		-874,847.15	5,000,000.00	4,125,152.85	19,061,473.87
8		-874,847.15	5,000,000.00	4,125,152.85	23,186,626.72
9		-874,847.15	5,000,000.00	4,125,152.85	27,311,779.57
10		-874,847.15	5,000,000.00	4,125,152.85	31,436,932.42

## Valor presente neto y tasa interna de retorno

VALOR PRESENTE NETO Y TASA INTERNA DE RETORNO				
Año	Flujo de efectivo neto	Factor de descuento	Flujo descontado	Flujo acumulado
0	-4,557,636.08			
1	-874,847.15	1.100		
2	4,125,152.85	1.210		
3	4,125,152.85	1.331		
4	4,125,152.85	1.464		
5	3,868,192.85	1.611		
6	4,125,152.85	1.772		
7	4,125,152.85	1.949		
8	4,125,152.85	2.144		
9	4,125,152.85	2.358		
10	4,125,152.85	2.594		
			<b>VPN</b>	<b>\$16,084,635.94</b>
			<b>TIR %</b>	<b>51 %</b>

## **Discusión**

Al carecer de información generada en cuanto al cultivo comercial de esta especie, fue necesario el empleo de datos experimentales de crecimiento para la elaboración de este estado financiero. El presente estudio esta enfocado en evaluar la factibilidad económica de la producción comercial piloto de larvas de pescado blanco, cultivadas en sistemas de recirculación. Este análisis fue echo también para determinar el tamaño óptimo de la planta.

Los resultados del modelo presentado sugieren que la producción piloto comercial de las especie es factible, se producirán huevos los cuales tienen una viabilidad de un 80%, siendo la producción de 120,000 por mes. Se pasaran a los sistemas de incubación y alevinaje, en esta fase larvaria consumirán artemia salina, siendo este uno de los insumos mas costosos en esta etapa de desarrollo. Tendiendo una mortalidad de 20%, después de 80 días se cosecharan 96,000 organismos con una talla promedio de 3 cm. Con lo anterior se pretende alcanzar una producción anual de 1,152,000 juveniles por año, a partir del año 2 de la producción.

Se consideraron todas las variables de control del cultivo tales como densidad, costo de alevines, alimento, energía, entre otros; se tomaron en cuenta también la dimensión de los estanques de 4 por 1.20 m. de altura, los cuales serán abastecidos con agua del subsuelo por medio de bombeo y con recambios parciales. Los ciclos de producción se asumieron como continuos a lo largo de cada horizonte de tiempo, es decir que cuando se cosechan las crías para su venta se vuelve a abastecer los sistemas para dar inicio a otro ciclo de cultivo. La mortalidad fue estimada basándose en los resultados obtenidos a nivel experimental.

Como variables de salida se consideraron los siguientes indicadores económicos financieros: valor presente neto (VPN) y tasa interna de retorno (TIR). Como tasa de descuento se asumió el valor de CETES a 28 días (tasa de 10%) como la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR).

### **Conclusiones y recomendaciones**

En términos generales el proyecto requiere de una inversión de total de \$ 4,557,636.08 pesos de inversión fija y \$ 874,847.15 pesos, para capital de trabajo durante los primeros 2 años. Al finalizar el primer año se tendrán ingresos netos por 4,016,534.30 pesos y del segundo en adelante 4,125,152.85 pesos, recibándose mensualmente \$ 334,711.19 pesos.

La inversión es recuperada para el año 3 de la producción, El valor presente neto de \$ 16,084,635.94, este resultado es positivo, si consideramos que en un proyecto de inversión el valor presente neto debe ser mayor a cero para aceptar su factibilidad. La tasa interna de retorno fue de un 51%, siendo mas alta que la tasa de descuento utilizada que fue de 10%, al ser mas alto el valor del TIR el proyecto objeto de análisis tiene preferencia y merece llevarse acabo.

Los indicadores de rentabilidad demuestran que la producción piloto comercial de larvas y juveniles de pez blanco es rentable y económicamente viable.

Es necesario realizar estudios y análisis económicos enfocados a la engorda de esta especie para saber si esta etapa es factible económicamente y así asegurar todo el ciclo completo de producción de la especie.

## **IV. DISCUSIÓN GENERAL**

### **4.1. Discusión general**

El propósito de este trabajo fue el de desarrollar una tecnología de cultivo a nivel de producción piloto comercial de manera económica y eficiente. El diseño de la planta y de los sistemas de producción se enfocaron en la creación de un estudio económico aplicable en relación costo / beneficio al cultivo de pez blanco. En este proyecto se pudieron coleccionar y analizar datos sobre la producción de pez blanco en sistemas de recirculación a una escala de producción comercial.

El sistema de recirculación diseñado resultó ser eficiente en términos de reducción de estrés, mantención de calidad de agua y capacidad de carga, ahorro de volúmenes de agua, labor y costos de construcción; reflejados biológicamente en un adecuado crecimiento y supervivencia de los organismos, hasta los primeros 90 días. Existe una relación óptima superficie / fondo en el diseño de tanques y canales de corriente rápida, en tanques de cultivo suele ser de 3:1 a 10:1 y de 5:1:1 a 10:1:1 en canales de corriente rápida (Timmons, *et al*, 1998., Salman, 1980), esta relación está influenciada por varios factores como el costo del espacio físico, densidad del cultivo, tipo de especie. Por otro lado los niveles y métodos de alimentación de los peces, la elección de la profundidad debe también considerar la comodidad de trabajo para los operarios que manejen los peces dentro del estanque (Burrows & Chenoweth, 1995, Chenoweth, 1973, Larmoyeux, 1973).

Una gran ventaja de los sistemas intensivos de cultivo diseñados radica en las canaletas de cultivo de los sistemas de recirculación, que fueron diseñadas a partir de tubos de PVC hidráulicos de 16", obteniendo varias ventajas como rigidez, simplicidad en la construcción y bajo costo. Las larvas de pez blanco son muy pequeñas al momento de la eclosión, lo que hace muy difícil su desplazamiento en ambientes profundos de ahí que la relación superficie volumen de las canaletas es por tanto adecuada.

La proporción de la superficie de 1.04 m<sup>2</sup> en relación con el fondo de 0.20 Mts, proporcionan un espejo de agua adecuado para la óptima distribución del alimento suministrado y como consecuencia las larvas tienen un buen desarrollo al reducir considerablemente su gasto energético al desplazarse en busca de alimento, reflejándose en crecimiento y supervivencia. La construcción de sistemas intensivos en la acuicultura tiende a ser muy costosa, por esa razón se eligieron materiales de bajo costo para construir con creatividad los sistemas de incubación y alevinaje, el diseño fue simple y fácil de mantener y manejar.

En el presente estudio, se desarrollo el diseño de la planta tomando como base la producción por año propuesta, así como los estadios del ciclo biológico de la especie, una vez definido el sistema intensivo del cultivo. Los sistemas de cultivo deben de estar contenidos en un espacio cerrado en donde se mantenga un control integral del los factores ambientales de manera artificial, al igual que equipos de monitoreo y control de los sistemas, el diseño de la planta se desarrollo en base a métodos constructivos y estructuras simples con la finalidad de abaratar los costos y tiempos de construcción además de crear espacios dinámicos que se adapten fácilmente a remodelaciones y adecuaciones futuras.

El estudio bioeconómico para evaluar la rentabilidad del cultivo piloto comercial, resultó con una gran viabilidad económica, los modelos bioeconómicos son útiles para representar el comportamiento del cultivo en la acuicultura. Estos requieren información básica de la biología de los peces y así modelar predicciones en cuanto a la viabilidad de producción del cultivo motivo de estudio, por lo que se han convertido en una herramienta importante para el cultivo comercial de nuevas especies (León, *et al.*, 2001).

La relevancia del modelo se refleja en que la recuperación de la inversión inicial, que recupera la inversión al tercer año de la producción y en la tasa de rendimiento que es mayor a la de descuento (tasa 10%, TIR 51%), condición necesaria para la evaluación, cubriendo así los objetivos de rendimiento, riesgo y plazo del capital invertido en este cultivo.

La principal aportación de este trabajo fue la de establecer un modelo *ad hoc* para la producción intensiva de juveniles de pez blanco a nivel comercial y demostrar su factibilidad operacional en sistemas de recirculación intensivos, para producir un millón de larvas y juveniles por año. Con esto se tienen todas las bases necesarias para continuar con los estudios necesarios de la siguiente fase, que es la producción comercial del pez blanco, en la que se tendrán que complementar los resultados de este trabajo con estudios del cultivo en la fase de engorda, en cuanto a la reducción de costos de alimento vivo, entre otros y así resolver la necesidad del cultivo comercial de pez blanco, de forma eficiente y segura.

## V. LITERATURA CITADA

Aguirre Valdez, M.C., (2004). **Características morfométricas y estructuras bucofaríngeas de larvas y juveniles de pez blanco (*Chirostoma estor estor* Jordán 1879) y su relación con los mecanismos de alimentación.** Tesis de Licenciatura, Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 50 pp.

Alabaster, J.S. y Lloyd, R., (1982). **Water quality criteria for fresh water fish.** London, Butterworths. 361 pp.

Allen, P.G. & Johnstone, W.E., (1976). **Research direction and economic feasibility: An example of systems analysis for lobster aquaculture.** Aquaculture, 9, 155-180.

Allen, P.G., Botsford, L.W., Schuur, A.M. & Johnston, W.E., (1984). **Bioeconomics of aquaculture.** Elsevier, Amsterdam.

Anthonisen, A.C., Lehr, R.C., Prakasam, T.B.S., Srinath, E.G., (1976). **Inhibition of nitrification of ammonia and nitrous acid. J. Water Pollut. Control Fed.** 48(5), 835-852.

Armijo, O.A., Sasso, Y.L., (1976). **Observaciones preliminares en acuarios sobre incubación y alevinaje de aterínidos (*Chirostoma* spp) del lago de Pátzcuaro, Mich.** Fideicomiso para el Desarrollo de la Fauna Acuática. 13 pp.

Baca Urbina, G., (2001). **Evaluación de proyectos.** McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. de C.V. México. 383 pp.

Bardach J.E. Ryther J.H. y McLarney, W.O. (1972). **Aquaculture. The farming and husbandry of fresh water and marine organisms.** John Wiley and Sons, Inc. USA. 868 pp.

Bardach J.E., (1997). **Sustainable aquaculture.** John Wiley and Sons, Inc. USA. 87 pp.

Blancheton, J.P., (2000). **Development in recirculation systems for Mediterranean fish species.** Aquacultural Engineering (22): 17-31.

Collins, M.T., (1975). **Nitrification in aquatic recirculating systems.** J. Fish. Res. Board Can.32: 25-31.

Comas-Morte, j., 2001. **Tolerance of *Chirostoma estor estor* larvae to saline environments.** MSc Thesis. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland. 61 p.

Curtis, M.J., & J. Howard., (1993). **Economics of aquaculture.** Haworth Press. 317 pp.

Chapman, P.E., Popham, J.D., Griffin, J., Michaelson, J., (1987). **Differentiation of physical from chemical toxicity in solid waste fish bioassay.** Water, Air, and Soil Pollution. 33: 295-308.

Chen, S., (1991). **Theoretical and experimental investigation of foam separation applied to aquaculture.** PhD dissertation, Cornell University, Ithaca, New York.

De Buen, F., (1940<sup>a</sup>). **Huevos, crías y jóvenes de *Chirostoma* del Lago de Pátzcuaro.** Estación Limnológica de Pátzcuaro. Vol. 3 15 p

De Buen, F., (1940<sup>b</sup>). **Pescado blanco, chacuami y cari del Lago de Pátzcuaro**. Vol 1. 24 p.

FAO. (2002). **The world state of fishery and aquaculture**. Roma, Italy.

FIFAC, (1980). **Symposium on new developments in the utilization of heated affluent and recirculation systems for intensive aquaculture**. EIFAC, 11<sup>th</sup> Session, Stavanger, Norway. May 28-30<sup>th</sup> .

Gasca-Leyva, E., León, J.C., Hernández, M.J., Vergara, J.M., (2002). **Bioeconomic analysis of production location of sea bream (*Sparus aurata*) Cultivation**. Aquaculture. 213, 219-232.

Gaspar Dillanes, M.T., (2001). **Las pesquerías continentales La pesca en México: Ante un mar de problemas una red de soluciones**. Ecológica. México, D.F. 12-16 p.

Graham, A. M., (2001). **Comparative study of proteolytic enzymes in the digestive tract of the sub-species of pez blanco (*Chirostoma estor estor* and *Chirostoma estor copandaro*) (Pisces:Atherinidae)**. BSc. Aquaculture Project. Institute of Aquaculture. University of Stirling, Scotland. 35p.

HACH, (1997) **Advanced water quality laboratory procedures manual**. Hach Company. USA, 205 pp.

Hagopian, D.S., Riley, J.G., (1998). **A closer look at the bacteriology of nitrification**. Aquacultural Engineering 1:275-295.

Hernández-González, A. **Efectos de la densidad de población en el crecimiento de larvas y supervivencia de larvas de pez blanco del lago de Pátzcuaro *Chirostoma estor estor***. En preparación.

Huguenin, J.E., Colt, J., (1989). **Design and operating guide for aquaculture seawater systems**. Elsevier Interscience, Amsterdam, The Netherlands, 264p.

Juárez, P.J.R., y Palomo, M.G.G., (1985). **Acuicultura**. Ed. CECOSA, Primera Edición. Mexico. 95 pp.

Kimura, S. and Tsukamoto, Y., (1990). **Development of larvae and juveniles of the atherinid fish, *Atherion elymus*, reared in the laboratory**. Japanese journal of Ichthyology. 37(1):29-33.

Landau, M., (1992). **Introduction to aquaculture**. Stockton State College, John Wiley & Sons Inc. 439 pp.

Lara, V.A. (1974). **Aspectos del cultivo extensivo y intensivo del pescado blanco de Pátzcuaro *Chirostoma estor* Jordan 1879**. En: actas del simposio sobre Acuicultura de América Latina. Documentos de Investigación. Montevideo, Uruguay. FAO Informes de pesca 159(1):113-116.

Lee, P.G., (1995). **A review of automated control systems for aquaculture and design the criteria for their implementation**. Aquacultural Engineering. 14. 205-227.

Lee, P.G., (2000). **Denitrification in aquaculture systems: an example of a fuzzy logic control problem**. Aquacultural Engineering. 23(1-3), 37-59.

León, J.C., Hernández, M.J., Gasca-Leyva. E., (2001). **Cost minimization and input substitution in the production of gilthead seabream.** *Aquaculture Economics and Management.* 5 (3/4) 147-170.

Liao, P.B., Mayo, R.D., (1974) **Intensified fish culture combining water reconditioning with pollution abatement.** *Aquaculture* 3:61-65.

Malone.R., DeLosReyes, Jr., A.a., (1997). **Categories of recirculating system.** In: **Advances in aquacultural engineering.** Northeast Regional agricultural engineering Service, Cornell, NY, Nres-105, pp. 197-208.

Magor, B.G., (1988). **Gill histopathology of juvenile *Oncorhynchus kisutch* exposed to suspended wood debris.** *Can. J. Zool* 66:2164-2169.

Mares, B.L.G. y Morales, P.J.J., (1986). **Algunas experiencias en el cultivo de microalga e invertebrados como apoyo a la acuicultura.** Trabajo presentado en el I congreso de la AMAC. Centro Regional de Investigación Pesquera Pátzcuaro, Mich, Mex., 42-47 p.

Martínez-Palacios, C.A., Rios-Duran, M.G., Campos, M.A., Toledo-Cuevas, M., Aguilar-Valdez, M.C. y L.G. Ross. (2003). **Desarrollo tecnológico alcanzado en el cultivo de pez blanco de Pátzcuaro . In: Historia y Avances del Cultivo de Pez Blanco.** Instituto Nacional de Pesca. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural pesca y Alimentación. México, 290pp.

Martínez-Palacios, C. A., Barriga Tovar, E., Taylor F. J., Ríos Duran, M.G., Ross, L.G., (2002). **Effect of temperature on growth and survival of *Chirostoma estor estor*, Jordan 1879, monitored using a simple video technique for remote measurement of length and mass of larval and juvenile fishes.** *Aquaculture*, 209: 369-337.

Martínez-Palacios, C. A., Comas Morte, J., Tello Ballinas, J. A., Toledo Cuevas, M., Ross. L. G., (2004). **The effect of saline environments on survival and growth of eggs and larvae of *Chirostoma estor estor* Jordan 1879. (Pisces: Atherinidae).** *Aquaculture*, (238): 509-522.

Martinez-Palacios, C. A., Racotta, I. S., Rios Duran, M. G., Palacios. E., Toledo Cuevas, M., (2006). **Advances in applied research for the culture of Mexican silversides (*Chirostoma*, *Atherinopsidae*).** *Biocell*. 30 (1): 137-148.

Martínez-Palacios, en preparación. **Determinación del requerimiento óptimo de proteína en juveniles de *Chirostoma estor estor*.**

Mayo, R.D., (1976). **A technical and economic review of the use of reconditioned water in aquaculture.** FAO Tech. Conference on Aquaculture, Kyoto, Japan. R.30.

Middaught, D.P. and Hemmer, M.J., (1990). **Laboratory culture of jacksmelt, *Atherinopsis californiensis* and topsmelt, *Atheriniops affinis* (Pisces: Atherinidae), with a description of larvae.** CALIFORNIA FISH AND GAME. 76(1):4-13.

Middaught, D.P. and Hemmer, M.J., (1992). **Reproductive ecology of the inland silverside, *Menidia beryllina*, (Pisces: Atherinidae) from Blackwater Bay.** Florida. *Copeia* 1:53-61.

Moksness, E. and Støle, R., (1997). **Larviculture of marine fish for sea ranching purposes: is it profitable?** *Aquaculture*. (155): 341-353.

Muir, F.J., (1978). **Aspects of water treatment and reuse in intensive fish culture.** PhD. Thesis. University of Stratchclyde, Glasgow, Scotland. 451 p.

Muir, F.J. (1982). **Recirculated water system in aquaculture**. In: Muir F.J. and Roberts, R.J. (Eds) Recent Advances in Aquaculture. Croom Helm Ltd. London, England. 357-446 pp.

Muir, F.J., (1997). **Special course: Hatchery management and maintenance**. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland.

Muir, F.J., (2002). **Engineering hand book**. MSc. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland. Course 10: Production Systems 286 pp.

Muir, F.J., (2003). **Economics, marketing and investment**. MSc. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland. Course 10: Production Systems. 44 p.

Nion, H., (1974). **Técnicas para la producción de semillas en cultivo de peces en América Latina**. Simposio FAO/ Carpas sobre acuicultura en América Latina. Uruguay. 16 pp.

Pappas, J.L., and Brigham, E.F., (1988). **Fundamentos de economía y Administración**. Interamericana, 542 pp.

Parker, N.C., (1992). **An aeration tower for aquaculture**. The progressive fish culturist. 54: 274-277.

Peñalosa-Camargo, M.L. **Determinación en el contenido de aminoácidos libres en juveniles de pez blanco (*Chirostoma estor estor*)**. En preparación.

Ridha, M.T., Cruz, E.M., (2001). **Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system**. Elsevier. Acuacultural Engineering. 24:157-166.

Rios-Duran, M.G. (2000). **Actividad proteolítica en larvas de pez blanco *Chirostoma estor copandaro*** . Implicaciones para su cultivo. Tesis de maestría, UMSNH. 53 p.

Rios Duran, M.G., Hernández Téllez, A. R., Martínez-Palacios, C. A. And Ross, L.G. (2006). **The effect of transportation stress on tissue ascorbic acid levels of Mexican silverside (*Chirostoma estor estor* Jordan 1979)**. Biocell. 30(1): 149-155.

Rodríguez, G.H., Polo, R.G., Salazar, A.G., (1993). **Fundamentos de acuicultura continental**. Instituto Nacional de Pesca Y Acuicultura, Republica de Colombia. 286 pp.

Rosas M., (1970). **Pescado blanco *Chirostoma estor estor* su fomento y su cultivo en México**. Instituto nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras, Comisión Nacional Consultiva de Pesca. México. 79 p.

Rosas-Moreno, M., (1976). **Datos biológicos de la ictiofauna del lago de Pátzcuaro con especial énfasis en la alimentación de las especies**. Memorias del simposio sobre pesquerías de aguas continentales, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 3-5 de noviembre, 299-365 pp.

Rojas, C.P.M. y Mares, B.L.G., (1998). **Cultivo de pescado blanco**. Informe de labores, Centro Regional de Investigación Pesquera, Pátzcuaro Mich, México. 8-18.

Rojas García, C.R., (1992). **Caracterización de un sistema de Biofiltración de agua marina para producción de post-larvas de camarón *Peneus sp* en el Cinvestav-Mérida**. Tesis de licenciatura, UNAM, Zaragoza. 50pp.

Rosas-Monge, C., (1994). **Cultivo experimental de crías de pez blanco *Chirostoma estor estor* su fenómeno y su cultivo en México.** Secretaria de Industria y Comercio, Instituto Nacional de Investigaciones Pesqueras. 80 pp.

Ross, G. L., (2006). **Determination of feeding mode in fish: the importance of using structural and functional feeding studies in conjunction with gut analysis in a selective zooplanktivore *Chirostoma estor estor* Jordan 1880.** Journal of Fish Biology. (68): 1-13.

Semple, G.P., (1986). **Reproductive behavior and early development of the drysdale hardyhead, *Craterocephalus* sp. Nov.** (Piches: athrinidae), from the alligator River System, Northern Territory, Australia J. Fish. Biol. (29): 499-506.

Shang, Y.C., (1981). **Aquaculture economics: Basis concepts and methods of analysis.** Westview Press, Boulder, Colorado. 153 p.

Shields, R. J., (2001). **Larviculture of marine finfish in Europe.** Aquaculture 200: 55-88.

Solórzano, P.A., (1963). **Algunos aspectos del pescado blanco del lago de Pátzcuaro Mich. (*Chirostoma estor estor* Jordan 1879).** Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras. Secretaria de Industria y Comercio., Dirección General de Pesca e Ind. Conexas, México. 7-15.

Spotte, S., (1979). **Fish and invertebrate culture.** Wiley-Interscience Publication, John Wiley and Sons, NY, NY. 165p.

Stickney, R.R., (1994). **Principles of aquaculture.** John Wiley and Sons Inc. New York, USA. 552p.

Stickney, R.R., (1979). **Principles of warmwater aquaculture**. John Wiley and Sons Inc. New York, USA. 179p.

Strussmann, C.A. and Takashima, F., (1989). **PNR, Histology and morphometry of starved pejerrey *Odontesthes bonariensis* larvae**. Nippon-Suisan-Gakkaishi-Bull. Japanese Society of Fisheries. 55(2): 237-246.

Strussmann, C.A., Choon, N.B., Takashima, F. and Oshiro, T., (1993). **Triploidy induction in an atherinid fish, the pejerrey (*Odontesthes bonariensis*)**. The Progressive Fish Culturist. 55:83-89.

Sverlij, S.B. and Mestre-Arceredillo, J.P., (1991). **Growth of the Argentine silverside *Odontesthes bonariensis*, Pisces, Atheriniformes, in La Florida reservoir (San Luis Argentina)**. Revista de hidrobiología Tropical. 24(3): 183-195.

Thompson, G.G. and Withers, P.C., (1992). **Osmoregulatory adjustments by three Atherinids (*Leptatherina presbyteroides*, *Craterocephalus mugiloides*; *Leptatherina wallacei*) to a range of salinities**. Comp. Biochem. Physiol. 103(4): 725-728.

Timmons, M.B., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., (1998). **Review of circular tank technology and management**. Aquacultural Engineering, (18): 51-79.

Timmons, M.B., Wheaton, F.W., Ebeling J.M., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., (2002). **Sistemas de Recirculación para la Acuicultura**. Fundación Chile. Santiago de Chile. 748 pp.

U.S. EPA., (1975). **Process design manual for nitrogen control**. A design manual prepared for the Office of Technology Transfer of the U.S. EPA.

Vinci, B.J., Watten, B.J., Timmons, M.B., (1997). **Modeling gas transfer in a spray tower oxygen absorber.** Aquacultural Engineering, 16:91-105.

WCED. (World Commission and Environment and Development)., (1987). **Our common future.** Oxford University Press, New York, 400 p.

Wimberly, Douglas M., (1990). **Development and evaluation of a low-density media biofiltration unit for use in recirculating finfish culture systems.** MSc Thesis, Louisiana State University, Baton rouge. Louisiana.

Wheaton, F.W., Krumins, V., Ebeling, J.M., (2001). **Ozone's effects on power-law particle size distribution in recirculating aquacultural systems.** Aquacultural Engineering, 25: 13-24.

Wheaton, F.W., (1985). **Aquacultural Engineering, 2nd Ed.** Wiley-Interscience, New York, 708 pp.

Wheaton, F.W., (1993)., **Acuacultura Diseño y Construcción de Sistemas.** A.G.T. Editor S.A. México. 703 pp.

Zhu, S., Chen, S. (2001)., **Effects of organic carbon on nitrification rate in fixed film biofilters.** Aquacultural Engineering 25:1-11.

## VI. ANEXOS

### 6.1. Tablas de resultados del experimento 1

**Tabla parámetros de calidad del agua experimento 1**

FECHA	HORA	T°C	Salinidad ‰	pH	O <sub>2</sub> mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	NO <sub>2</sub> -N mg/L
01-nov-04	9:00 am	22.2	5	8	7.33	0.2	0.04
01-nov-04	6:00 pm	22.4	5	8	6.74	0.4	0.04
02-nov-04	9:00 am	19.3	5	8	7	1	0.03
02-nov-04	6:00 pm	19.5	5	8	7.3	0.7	0.05
03-nov-04	9:00 am	19.5	5	8	7.5	0.6	0.13
03-nov-04	6:00 pm	19.4	5	8	7.8	0.1	0.15
04-nov-04	9:00 am	19.6	5	8	7.8	0.1	0.17
04-nov-04	6:00 pm	19.6	5	8	5.8	0.1	0.19
05-nov-04	9:00 am	19.7	5	8	5.8	0.1	0.35
05-nov-04	6:00 pm	18.8	5	8	5.8	0.1	0.22
06-nov-04	9:00 am	18.9	5	8	5.78	0.1	0.25
06-nov-04	6:00 pm	18.7	5	8	5.68	0.1	0.22
07-nov-04	9:00 am	18.9	5	7.9	5.6	0.6	>0.50
07-nov-04	6:00 pm	18.9	5	7.9	5.64	0.5	>0.50
08-nov-04	9:00 am	20	5	8	5.62	0.4	>0.50
08-nov-04	6:00 pm	20	5	8	5.6	0.3	>0.50
09-nov-04	9:00 am	20.2	5	8	5.57	0.1	0.20
09-nov-04	6:00 pm	20.4	5	8	5.58	0.1	0.15

## 6.2. Tablas de resultados del experimento 2

### Tabla SISTEMA 1

TOTAL DE ORGANISMOS	1399
---------------------	------

### Tabla Parámetros de calidad del agua experimento 2 sistema I

Dia	Hora	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II
		T °C	T °C	S‰	S‰	pH	pH	O <sub>2</sub> mg/L	O <sub>2</sub> mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	NO <sub>2</sub> -N mg/L	NO <sub>2</sub> -N mg/L
10nov04	9:00am	19.4	19.7	5	5	8.00	7.95	7.50	7.55	-----	-----	0.02	0.02
10nov04	6:00pm	19.8	19.8	5	5	7.45	7.61	5.32	5.31	-----	-----	0.04	0.04
11nov04	9:00am	20.0	20.0	5	5	7.60	7.06	5.83	5.83	-----	-----	0.02	0.02
11nov04	6:00pm	19.8	19.8	5	5	7.33	7.06	5.88	5.80	-----	-----	0.05	0.04
12nov04	9:00am	20.0	20.0	5	5	7.31	7.08	5.86	5.81	-----	-----	0.03	0.02
12nov04	6:00pm	20.1	20.1	5	5	7.37	7.12	5.88	5.70	-----	-----	0.05	0.04
13nov04	9:00am	20.7	20.6	5	5	6.91	7.28	5.81	5.71	-----	-----	0.03	0.02
13nov04	6:00pm	20.5	20.5	5	5	7.38	7.05	5.78	5.72	-----	-----	0.03	0.04
14nov04	9:00am	20.6	20.5	5	5	7.57	6.91	5.80	5.73	-----	-----	0.03	0.02
14nov04	6:00pm	20.4	20.4	5	5	7.45	7.42	5.75	5.86	-----	-----	0.05	0.04
15nov04	9:00am	20.5	20.3	5	5	7.37	7.16	5.73	5.74	-----	-----	0.04	0.03
15nov04	6:00pm	20.4	20.4	5	5	7.09	7.32	5.80	5.93	-----	-----	0.05	0.05
16nov04	9:00am	20.7	20.6	5	5	7.47	7.48	5.68	5.71	-----	-----	0.04	0.03
16nov04	6:00pm	20.7	20.7	5	5	7.15	7.36	5.73	5.70	-----	-----	0.05	0.04
17nov04	9:00am	20.7	20.6	5	5	7.38	7.10	5.70	5.64	-----	-----	0.03	0.02
17nov04	6:00pm	20.8	20.7	5	5	7.20	7.20	5.60	5.70	-----	-----	0.05	0.05
18nov04	9:00am	21.1	21.1	5	5	7.35	7.25	5.60	5.54	-----	-----	0.04	0.03
18nov04	6:00pm	20.7	20.6	5	5	7.18	7.14	5.60	5.54	-----	-----	0.06	0.05
19nov04	9:00am	21.2	20.4	5	5	7.30	7.30	5.55	5.50	-----	-----	0.05	0.03
19nov04	6:00pm	20.4	20.4	5	5	7.20	7.20	5.50	5.50	-----	-----	0.06	0.05

**Tabla SISTEMA 2**

TOTAL DE ORGANISMOS	1001
---------------------	------

**Tabla Parámetros de calidad del agua experimento 2 sistema II**

Dia	Hora	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II
		T °C	T °C	S‰	S‰	pH	pH	O <sub>2</sub> mg/L	O <sub>2</sub> mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	NO <sub>2</sub> mg/L	NO <sub>2</sub> mg/L
10nov04	9:00am	19.8	19.9	5	5	7.61	7.21	6.60	6.7/	-----	-----	0.01	0
10nov04	6:00pm	20.0	20.0	5	5	7.68	8	5.24	5.16	-----	-----	0.02	0
11nov04	9:00am	20.1	20.2	5	5	7.42	7.16	5.70	5.67	-----	-----	0.01	0.01
11nov04	6:00pm	20.0	20.0	5	5	7.50	7.13	5.67	5.60	-----	-----	0.02	0.02
12nov04	9:00am	20.2	20.0	5	5	7.37	7.16	5.72	5.65	-----	-----	0.02	0.02
12nov04	6:00pm	20.4	20.4	5	5	7.42	7.44	5.62	5.44	-----	-----	0.03	0.02
13nov04	9:00am	20.8	20.8	5	5	7.42	7.44	5.57	5.56	-----	-----	0.04	0.02
13nov04	6:00pm	20.8	20.8	5	5	7.47	7.49	5.60	5.60	-----	-----	0.05	0.02
14nov04	9:00am	20.6	20.6	5	5	7.44	7.38	5.43	5.26	-----	-----	0.03	0.02
14nov04	6:00pm	20,5	20.6	5	5	7.47	7.38	5.60	5.60	-----	-----	0.04	0.03
15nov04	9:00am	20,7	20.7	5	5	7.22	7.08	5.59	5.48	-----	-----	0.04	0.03
15nov04	6:00pm	20,6	20.6	5	5	7.37	7.38	5.53	5.61	-----	-----	0.05	0.04
16nov04	9:00am	20.9	20.9	5	5	7.40	7.46	5.60	5.40	-----	-----	0.05	0.04
16nov04	6:00pm	21.0	21.0	5	5	7.50	7.49	5.38	5.54	-----	-----	0.06	0.04
17nov04	9:00am	21.0	21.0	5	5	7.33	7.37	5.28	5.34	-----	-----	0.05	0.03
17nov04	6:00pm	21.0	21.1	5	5	7.36	7.47	5.06	5.32	-----	-----	0.06	0.04
18nov04	9:00am	21.4	21.4	5	5	7.35	7.38	5.41	5.00	-----	-----	0.03	0.02
18nov04	6:00pm	21.0	21.0	5	5	7.48	7.46	5.35	5.25	-----	-----	0.06	0.04
19nov04	9:00am	21.5	21.6	5	5	7.37	7.40	5.30	5.25	-----	-----	0.03	0.02
19nov04	6:00pm	21.0	21.0	5	5	7.45	7.48	5.25	5.20	-----	-----	0.06	0

**Tabla SISTEMA 3**

TOTAL DE ORGANISMOS	2485
---------------------	------

**Tabla Parámetros de calidad del agua experimento 2 sistema III**

Día	Hora	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II
		T °C	T °C	S‰	S‰	pH	pH	O <sub>2</sub> mg/L	O <sub>2</sub> mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	NO <sub>2</sub> mg/L	NO <sub>2</sub> mg/L
10nov04	9:00am	19.9	19.9	5	5	7.46	7.46	6.67	5.00	-----	-----	0.01	0.01
10nov04	6:00pm	20.2	20.1	5	5	7.82	7.82	5.26	5.04	-----	-----	0.01	0.02
11nov04	9:00am	20.2	20.2	5	5	7.50	7.50	5.62	5.62	-----	-----	0.01	0.01
11nov04	6:00pm	20.2	20.2	5	5	7.32	7.32	5.65	5.40	-----	-----	0.03	0.03
12nov04	9:00am	20.3	20.3	5	5	7.47	7.47	5.62	5.62	-----	-----	0.03	0.02
12nov04	6:00pm	20.4	20.5	5	5	7.53	7.53	5.58	5.36	-----	-----	0.03	0.03
13nov04	9:00am	20.8	20.8	5	5	7.30	7.30	5.58	5.56	-----	-----	0.02	0.02
13nov04	6:00pm	20.8	20.8	5	5	7.50	7.50	5.56	5.52	-----	-----	0.05	0.04
14nov04	9:00am	20.9	20.5	5	5	7.05	7.05	5.35	5.35	-----	-----	0.03	0.01
14nov04	6:00pm	20.5	20.7	5	5	7.08	7.08	5.52	5.48	-----	-----	0.05	0.04
15nov04	9:00am	20.7	20.6	5	5	7.34	7.34	5.48	5.44	-----	-----	0.03	0.03
15nov04	6:00pm	20.6	21.0	5	5	7.40	7.40	5.60	5.54	-----	-----	0.05	0.05
16nov04	9:00am	21.0	21.1	5	5	7.28	7.28	5.68	5.35	-----	-----	0.04	0.03
16nov04	6:00pm	21.0	21.0	5	5	7.30	7.30	5.50	5.49	-----	-----	0.05	0.03
17nov04	9:00am	21.1	21.1	5	5	7.15	7.15	5.50	5.44	-----	-----	0.04	0.02
17nov04	6:00pm	21.4	21.4	5	5	7.50	7.50	5.45	5.47	-----	-----	0.05	0.03
18nov04	9:00am	21.5	21.5	5	5	7.20	7.20	5.26	5.20	-----	-----	0.03	0.02
18nov04	6:00pm	21.5	21.5	5	5	7.40	7.40	5.40	5.38	-----	-----	0.04	0.04
19nov04	9:00am	21.7	21.7	5	5	7.25	7.25	5.40	5.40	-----	-----	0.04	0.03
19nov04	6:00pm	21.6	21.5	5	5	7.35	7.35	5.35	5.30	-----	-----	0.05	0.05

### 6.3. Tablas de resultados del experimento 3

#### SISTEMA EXPERIMENTO 3

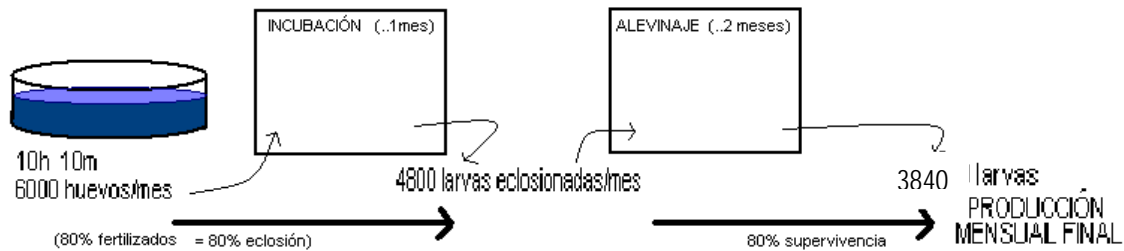
Nº de canaletas	Nº de organismos
1	977
2	977
3	977
4	977
5	977
TOTAL	4885

#### Parámetros de calidad del agua sistema experimento 3

DIA	HORA	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II	Sitio I	Sitio II
		T °C	T °c	S%	S%	PH	PH	O <sub>2</sub> mg/L	O <sub>2</sub> mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	NH <sub>3</sub> -N mg/L	NO <sub>2</sub> mg/L	NO <sub>2</sub> mg/L
25mar05	10:00 am	21	21	5 ppm	5 ppm	7.5	7.8	5.06	5.80	----	----	0.07	0.07
25mar05	6:00 am	21.2	21.2	5 ppm	5 ppm	7.06	7.2	4.52	5.14	----	----	0.11	0.11
26mar05	10:00 am	21.5	21.5	5 ppm	5 ppm	7.24	7.18	4.92	5.19	----	----	0.10	0.09
26mar05	6:00 am	21.5	21.5	5 ppm	5 ppm	7.16	7.09	5.08	4.90	----	----	0.12	0.12
27mar05	10:00 am	21.8	21.8	5 ppm	5 ppm	7.6	7.5	5.10	5.2	----	----	0.11	0.10
27mar05	6:00 am	21.9	21.9	5 ppm	5 ppm	7.97	7.42	4.96	4.82	----	----	0.12	0.11
28mar05	10:00 am	22.1	22.1	5 ppm	5 ppm	7.5	7.3	4.8	5.10	----	----	0.09	0.09
28mar05	6:00 am	22.3	22.3	5 ppm	5 ppm	7.3	7.5	4.83	4.89	----	----	0.12	0.11
29mar05	10:00 am	22	22	5 ppm	5 ppm	7.2	7.2	5.33	5.37	----	----	0.10	0.10
29mar05	6:00 am	22.1	22.1	5 ppm	5 ppm	7.45	7.14	5.10	5.22	----	----	0.12	0.12
30mar05	10:00 am	22.1	22.1	5 ppm	5 ppm	7.21	7.19	5.36	5.4	----	----	0.06	0.05
30mar05	6:00 am	22.4	22.4	5 ppm	5 ppm	7.19	7.16	4.71	4.76	----	----	0.12	0.12
31mar05	10:00 am	22.5	22.5	5 ppm	5 ppm	7.21	7.46	5.26	5.35	----	----	0.05	0.05
31mar05	6:00 am	22.8	22.8	5 ppm	5 ppm	7.22	7.18	5.05	5.13	----	----	0.13	0.13
01abr05	10:00 am	22.6	22.6	5 ppm	5 ppm	7.23	7.23	5.27	5.31	----	----	0.07	0.06
01abr05	6:00 am	22.7	22.7	5 ppm	5 ppm	7.18	7.16	5.07	4.94	----	----	0.10	0.10
02abr05	10:00 am	22.8	22.8	5 ppm	5 ppm	7.21	7.13	5.14	5.25	----	----	0.12	0.12
02abr05	6:00 am	22.5	22.5	5 ppm	5 ppm	7.42	7.14	5.23	5.22	----	----	0.10	0.10
03abr05	10:00 am	22.4	22.4	5 ppm	5 ppm	7.34	7.13	5.15	5.30	----	----	0.07	0.07
03abr05	6:00 am	22.7	22.7	5 ppm	5 ppm	7.17	7.10	4.97	5.17	----	----	0.10	0.10

#### 6.4. Cálculo para el diseño de áreas de la planta

##### **•PRODUCCIÓN MENSUAL DE LARVAS A PARTIR DE 1 TANQUE CON 10 HEMBRAS Y 10 MACHOS, asumiendo un apuesta inicial de 6000 huevos:**



##### **•CÁLCULO DE PRODUCCIÓN ANUAL DE LARVAS POR TANQUE:**

**3.840 larvas/tanque/mes x 12 meses = 46.080 larvas/tanque/año**

##### **•CÁLCULO DE TANQUES Y REPRODUCTORES NECESARIOS PARA UNA PRODUCCIÓN ANUAL DE 1.000.000 DE LARVAS:**

**1.000.000 larvas/año ÷ 46.080 larvas/tanque/año = 22 tanques = 25 tanques  
= 250 ♀, 250 ♂**

#### **Calculo para diseñar el área de reproductores**

Tanques de 4 m. diámetro con 10 machos y  
10 hembras se producen 3 desoves/sem/6 m  
6, 000 huevos/mes/tanque.

80% eclosion 4,800 huevos /mes/tanque=4,800 huevos  
4,800 huevos \* 25 tanques = 120,000 huevos/mes  
120,000 \* 6 meses = 720, 000 huevos/6 meses  
Utilizando fotoperíodo = 1, 440, 000 huevos/año.

20% mortalidad 1, 152, 000 larvas/año.

### **Cálculo para diseñar el área de incubación y alevínaje**

3, 840 larvas/mes/tanque.

$3,840 \text{ larvas} * 25 \text{ tanques} = 96,000 \text{ larvas/mes/tanque}$

$96,000 * 6 \text{ meses} = 576,000 \text{ larvas/6 meses}$

Utilizando fotoperíodo 1,152, 000 larvas/año.

Canaleta de 156 litros en los primeros 25 días se

Manejan densidades de 1000 larvas/canaleta

$96,000 \text{ larvas}/1000 \text{ larvas/canaleta} = 96 \text{ canaletas}$

### **Cálculo para diseñar el área de producción de juveniles**

3, 840 larvas/mes/tanque.

$3,840 \text{ larvas} * 25 \text{ tanques} = 96,000 \text{ larvas/mes/tanque}$

$96,000 * 6 \text{ meses} = 576,000 \text{ larvas/6 meses}$

Utilizando fotoperíodo 1,152, 000 larvas/año.

Canaleta de 156 litros después de 25 días se realiza

Un desdoble a 500 larvas/canaleta

$96,000 \text{ larvas}/500 \text{ larvas/canaleta} = 192 \text{ canaletas}$

### **Cálculo para el diseño del área de preventa y almacenamiento.**

La densidad necesaria en esta edad (90 días) es de 1 pez/litro

Cada tanque de 4 metros tiene 12,560 litros

$$12,560 \times 1 \text{ pez} = 12,560 \text{ peces/tanque}$$

96,000 peces producidos por mes / 12 560 peces/tanque

Se requieren 8 Tanques de 4 metros de diámetro

Considerando el almacenamiento por mas tiempo de los organismos y considerando estanques de cuarentena.

Se propone 20 tanques de 4 metros para esta área

### **Cálculo para el diseño del área de producción de alimento vivo.**

#### ROTIFERO

9 tanques de 169 litros/22 canaletas relación de  
1 tanque/2 canaletas.

192 canaletas/2 = 96 tanques para microalga

9 botes de 20 litros/22 canaletas

192/2 = 96 botes de 20 litros para el alimento diario

#### Microalga

9 botes vitroleros

#### ARTEMIA

9 tanques de 169 litros/22 canaletas relación de

1 tanque/2 canaletas

192/2 = 96 tanques de artemia salina.

## 6.5. Calculo de insumos para la producción de pez blanco

### Tabla Costo alimento

COSTO DE ALIMENTO	
PROMEDIO	0.1280 g/pez/mes
Cantidad de peces cosechados	120,000.00 /mes
Cantidad de alimento/mes (kg)	15.36
Cantidad de alimento/año (kg)	184.32
Alimento pesos/kg	84.66
<b>Costo de alimento</b>	<b>15,605.76</b>

### Tabla Costo soya

COSTO DE LECHE DE SOYA	
PROMEDIO	0.0003 kg/pez/mes
Cantidad de peces cosechados	120,000.00 /mes
Cantidad de leche/mes (kg)	36.00
Cantidad de leche/año (kg)	432.00
Leche pesos/kg	14.00
<b>Costo de leche</b>	<b>6,048.00</b>

### Tabla Costo fertilizante

COSTO DE FERTILIZANTE	
PROMEDIO	0.001 kg/pez/mes
Cantidad de peces cosechados	120,000.00 /mes
Cantidad de fert/mes (kg)	12.00
Cantidad de fert/año (kg)	144.00
Fertilizante pesos/kg	65.55
<b>Costo de fertilizante</b>	<b>9,439.20</b>

**Tabla Costo sal**

COSTO DE SAL	
PROMEDIO	0.003 kg/pez/mes
Cantidad de peces cosechados	120,000.00 /mes
Cantidad de sal/mes (kg)	360.00
Cantidad de sal/año (kg)	4,320.00
Sal pesos/kg	1.28
Costo de sal	<b>5,529.60</b>

**Tabla Costo levadura**

COSTO DE LEVADURA	
PROMEDIO	0.00005 kg/pez/año
Cantidad de peces cosechados	120,000.00 /mes
Cantidad de levadura/mes (kg)	6.00
Cantidad de levadura/año (kg)	72.00
Levadura pesos/kg	100.00
Costo de levadura	<b>7,200.00</b>

**Tabla Costo cloro**

COSTO DE CLORO	
PROMEDIO	0.0004 lt/pez/año
Cantidad de peces cosechados	120,000.00 /mes
Cantidad de cloro/mes (lt)	48.00
Cantidad de cloro/año (lt)	576.00
Cloro pesos/lt	5.00
Costo de cloro	<b>2,880.00</b>

**Tabla Costo hidróxido de sodio****COSTO DE HIDROXIDO DE SODIO**

PROMEDIO	0.0260 g/pez/año
Cantidad de peces cosechados	120,000.00 /mes
Cantidad de hidroxido/mes (kg)	3.16
Cantidad de hidroxido/año (kg)	38.08
Hidroxido pesos/kg	120.00
Costo de hidroxido	4,569.60

**Tabla Costo tiosulfato de sodio****COSTO DE TIOSULFATO DE SODIO**

PROMEDIO	0.0265 g/pez/año
Cantidad de peces cosechados	120,000.00 /mes
Cantidad de hidroxido/mes (kg)	2.40
Cantidad de hidroxido/año (kg)	28.80
Hidroxido pesos/kg	260.00
Costo de hidroxido	7,488.00

**Tabla Costo artemia****COSTO DE ARTEMIA SALINA**

PROMEDIO	0.0018 Kg/pez/mes
Cantidad de peces cosechados	120,000.00 /mes
Cantidad de artemia/mes (kg)	21.60
Cantidad de artemia/año (kg)	259.20
Artemia pesos/kg	746.66
Costo de artemia	193,534.27

**Tabla Costo energía**

---

**COSTO DE ENERGIA**

---

Costo considerando un transformador propio

Energia/mes	17,450.00
Energia/año	209,400.00
<b>Costo de energia</b>	<b>209,400.00</b>

---

**Tabla Otros costos**

---

**OTROS COSTOS (MISCELANEA)**

---

- Limpieza
- Consumibles
- Teléfono

<b>Otros costos</b>	<b>10,000.00</b>
---------------------	------------------

---

**Tabla Costo trabajo**

---

**COSTOS DE TRABAJO**

---

Empleados	4
Salario/mes	6,500.00
<b>Costos de trabajo</b>	<b>312,000.00</b>

---