

**CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA EN EL LEVANTE DE ALEVINOS DE
TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*) EN SISTEMAS CERRADOS DE
RECIRCULACIÓN DE AGUA**

Camilo Andrés Montaña

PROYECTO DE TESIS

Director: Hernán Hurtado Ph. D.

Codirector: Edwin Gómez Ramírez

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE CIENCIAS
BIOLOGIA APLICADA
SANTA FE DE BOGOTA D.C, SEPTIEMBRE 17
2009**

I. TABLA DE CONTENIDO

1. JUSTIFICACIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1.OBJETIVO GENERAL.....	2
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. INTRODUCCIÓN	3
4. MARCO TEÓRICO	4
4.1.ACUCULTURA.....	4
4.1.1. Evolución histórica en Colombia.....	4
4.1.2. Sistemas de producción en acuicultura.....	6
4.1.3. Fases de producción.....	7
4.2.SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN.....	8
4.2.1. Componentes.....	9
4.2.2. Aireación.....	9
4.2.3. Remoción de residuos sólidos.....	10
4.2.4. Filtración biológica.....	10
4.3.CALIDAD DEL AGUA.....	11
4.3.1. Temperatura.....	11
4.3.2. Oxígeno.....	12
4.3.3. Nitrógeno.....	12
4.3.4. PH, Alcalinidad y Dureza.....	13
4.4.SALUBRIDAD EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN.....	14
4.4.1. Enfermedades.....	15
4.4.2. Desinfección y tratamiento de enfermedades.....	15

4.5.ASPECTOS BÁSICOS PARA EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCOIRIS (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	16
4.5.1. Clasificación taxonómica.....	17
4.5.2. Características y descripción de la especie.....	18
4.5.3. Hábitos alimenticios.....	19
4.5.4. Aspectos reproductivos.....	19
4.5.5. Ecología.....	20
4.5.6. Calidad del agua en el cultivo de trucha arcoíris.....	20
4.5.7. Crecimiento.....	21
4.5.8. Nutrición y alimentación.....	23
4.5.9. Supervivencia.....	24
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
5.1.DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	25
5.2.DISEÑO EXPERIMENTAL.....	28
5.3.MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN.....	29
5.4.ALIMENTACIÓN.....	29
5.5.REGISTRO DE VARIABLES.....	29
5.5.1. Crecimiento.....	29
5.5.2. Físicoquímicos.....	30
5.5.3. Parámetros de producción.....	30
6. RESULTADOS	33
6.1.FÍSICOQUÍMICOS.....	33
6.2.CRECIMIENTO.....	34
6.3.CORRELACIONES PESO- LONGITUD TOTAL.....	35
6.4.MODELOS DE CRECIMIENTO.....	36
6.5.DATOS DE PRODUCCIÓN.....	39
7. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	39
7.1.FÍSICOQUÍMICOS.....	39
7.2.CRECIMIENTO.....	41
7.3.PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN.....	44

8. CONCLUSIONES	48
9. RECOMEDACIONES	49
10. BIBLIOGRAFÍA	50
10.1. REFERENCIAS WEB.....	60
11. ANEXOS	61
11.1. ANEXO I.....	61
11.2. ANEXO II.....	61
11.3. ANEXO III.....	62
11.4. ANEXO IV.....	62
11.5. ANEXO V.....	62
11.6. ANEXO VI.....	63
11.7. ANEXO VII.....	63
11.8. ANEXO VIII.....	63
11.9. ANEXO IX.....	64
11.10. ANEXO X.....	65
11.11. ANEXO XI.....	66
11.12. ANEXO XII.....	67

II. INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción en toneladas métricas en piscicultura a nivel nacional Entre los años 2002-2006. Los asteriscos (*) indican carencia y/o insuficiencia de datos.....	6
Tabla 2. Porcentaje de NH ₃ en una solución acuosa amoniacal a distintas temperaturas y pH.....	13
Tabla 3. Clasificación del agua según su dureza.....	14
Tabla 4. Principales parámetros de la calidad del agua en el cultivo de <i>O. mykiss</i>	21
Tabla 5. Relación entre la longitud y el peso.....	22
Tabla 6. Tasas de alimentación para trucha arcoíris como porcentaje de	

peso corporal por día.....	23
Tabla 7. Niveles de amonio total, amonio no ionizado, nitrito, dureza general disueltos en el agua en miligramos por litro (ml/L), y valores de pH y temperatura en (°C) registrados en las réplicas correspondientes a los grupos A, B y C en los muestreos realizados durante el estudio. El muestreo (1) corresponde a los valores iniciales de los parámetros del agua evaluados.....	33
Tabla 8. Aumento en peso (g) a nivel de muestreos en las replicas de los grupos A, B y C durante el periodo de cultivo (letras diferentes entre filas muestran diferencias significativas, $P < 0.05$). El muestreo 1 corresponde a los valores iniciales de peso promedio.....	34
Tabla 9. Aumento en longitud total promedio (cm) entre muestreos de los grupos A, B, y C durante el periodo de cultivo (letras diferentes entre filas muestran diferencias significativas, $P < 0.05$). El muestreo 1 corresponde a los valores iniciales de longitud total promedio.....	34
Tabla 10. Aumento en longitud estándar (cm) en los muestreos de los grupos A, B y C durante el periodo de cultivo (letras diferentes entre filas muestran diferencias significativas, $P < 0.05$). El muestreo 1 corresponde a los valores iniciales de Longitud estándar promedio.....	35
Tabla 11. Modelos obtenidos a partir de las correlaciones del peso y la longitud total para los grupos A, B y C respectivamente.....	35
Tabla 12. Biomasa inicial, biomasa final, ganancia en peso promedio individual (GP), tasa especifica de crecimiento (TCE), tasa de crecimiento absoluta (TCA), factor de condición inicial (Ki), factor de condición final (Kf), tasa de conversión alimenticia (FCA), y sobrevivencia expresada en porcentaje de los grupos	

y réplicas evaluados en el ensayo.....	39
Tabla 13. Número de individuos por replica registrados durante el periodo de mantenimiento de los individuos.....	61
Tabla 14. Ración de alimento en gramos (g) suministrada por quincena (1 y 2) por grupo y por réplica durante el periodo de mantenimiento de los individuos.....	61
Tabla 15. Prueba de ANOVA para el peso (Peso) entre grupos, replicas y muestreos.....	62
Tabla 16. Prueba de Comparación múltiple de medias (Tukey) para peso a nivel de grupos entre A, B y C.....	62
Tabla 17. Prueba de ANOVA para el peso longitud total (LT) entre grupos, réplicas y muestreos.....	62
Tabla 18. Prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) para longitud total (LT) a nivel de grupos entre A, B y C.....	63
Tabla 19. Prueba de ANOVA para el peso longitud total (LS) entre Grupos, réplicas y muestreos.....	63
Tabla 20. Prueba de Comparación múltiple de medias (Tukey) para longitud estándar a nivel de grupos entre A, B y C.....	63

II. INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas típicas de amonio y nitritos en días donde se muestra el tiempo necesario para el establecimiento de las bacterias en un biofiltro.....	11
Figura 2. Aspecto general y morfología de un individuo adulto de <i>O.mykiss</i>	17
Figura 3. Aspecto general de un alevín de <i>O. mykiss</i>	18
Figura 4. Esquema del tanque para peces: (a) Tanque, (b) Bomba de agua,	

	(c) Manquera comunicante y (d) Bombas de aireación.....	25
Figura 5.	Esquema representativo del diseño del biofiltro. Las flechas indican la dirección del flujo de agua. (a) Entrada de agua. (b) Biofiltro. (c) Tubería interna del biofiltro. (d) Salida de agua para el tanque de peces.....	26
Figura 6.	Esquema simplificado del Sistema de Recirculación de Agua (SRA) empleado. (a) bomba. (b) Tanque. (c) Biofiltro. (d) Manquera comunicante. (e) Tubería del biofiltro.(f) Bombas de aireación. Las flechas indican la dirección del flujo de agua.....	27
Figura 7.	Modelos de crecimiento con mayor coeficiente de determinación (R^2) obtenidos para peso promedio en función del tiempo (muestreos). Modelos potenciales (grupos A y C) y exponencial (grupo B) (de arriba a abajo). Las letras mayúsculas (A, B y C) indican el grupo correspondiente.....	36
Figura 8.	Modelos de crecimiento con mayor coeficiente de determinación (R^2) obtenidos para longitud total promedio en función del tiempo (muestreos). Modelos exponenciales (grupos A y B) y potencial (grupo C) (de arriba a abajo). Las letras mayúsculas (A, B y C) indican el grupo correspondiente.....	37
Figura 9.	Modelos de crecimiento con mayor coeficiente de determinación (R^2) obtenidos para longitud estándar promedio en función del tiempo (muestreos). Modelos exponenciales (grupos A y B) y potencial (grupo C) (de arriba a abajo). Las letras mayúsculas (A, B y C) indican el grupo correspondiente.....	38
Figura 10.	Modelos de crecimiento lineal, exponencial y potencial (de arriba abajo) evaluados para peso en función del tiempo (muestreo) con su ecuación y coeficiente de determinación (R^2). Las letras mayúsculas (A, B y C) indican el grupo correspondiente.....	65
Figura 11.	Modelos de crecimiento lineal, exponencial y potencial (de arriba abajo) evaluados para longitud total en función del tiempo	

(muestreo) con su ecuación y coeficiente de determinación (R^2).
Las letras mayúsculas (A, B y C) indican el grupo
correspondiente..... 66

Figura 12. Modelos de crecimiento lineal, exponencial y potencial (de arriba
abajo) evaluados para longitud estándar en función del tiempo
(muestreo) con su ecuación y coeficiente de determinación (R^2).
Las letras mayúsculas (A, B y C) indican el grupo
correspondiente..... 67

1. JUSTIFICACIÓN

Generalmente la producción en las granjas acuícolas ha dependido directamente del balance entre los factores bióticos (organismos acuáticos) y los factores abióticos (oxígeno disuelto, temperatura, pH entre otros), pero actualmente los sistemas tradicionales de cultivo presentan problemas relacionados con la mala calidad, excesiva cantidad del agua utilizada, inadecuado tiempo de recambio, baja velocidad del agua y sobrepoblación de los sistemas de cultivo de los organismos acuáticos (Klontz, 1991). Generalmente en sistemas de producción de *O. mykiss* se utilizan caudales de agua que varían de entre 1.892 L/min para unidades productoras pequeñas hasta sistemas de producción masivos que exceden los 7.571 L/min (Cain & Garling, 1993). Adicionalmente debido a la mala calidad del agua, se ha incrementado la aparición de problemas sanitarios, afectando el desarrollo y crecimiento de especies de cultivo, lo que ha traído como consecuencia que los peces sufran condiciones de baja concentración de oxígeno, y alta concentración de sólidos suspendidos que ocasionan generalmente la muerte (Hipólito 1999, citado por Gallego *et al.*, 2003).

Existe en la actualidad un gran interés en el avance de otras estrategias de producción que solventen los problemas relacionados con la mala calidad del agua y la sobreexplotación del recurso hídrico en sistemas de producción tradicional. Una de estas nuevas técnicas de producción son los sistemas de recirculación los cuales se han venido desarrollando y mejorando durante más de tres décadas.

Un sistema de recirculación mantiene un favorable ambiente de cultivo mientras provee un adecuado crecimiento y alimentación. Proporcionando agua de buena calidad debido al constante recambio y reuso del agua del sistema. Los sistemas de recirculación utilizan menos del 90% del agua requerida por los sistemas de estanque para obtener una producción similar. Adicionalmente los

sistemas de recirculación utilizan tanques para la producción acuícola y emplean un área mucho menor (Losordo *et al.*, 1992).

Partiendo de esto, ante la creciente demanda alimenticia por el incremento poblacional a escala mundial y de la explotación desmesurada de los recursos dulceacuícolas que trae como consecuencia la destrucción de los ecosistemas acuáticos, es importante disponer de sistemas de recirculación ya que estos pueden ofrecer una alternativa ante los problemas originados en los sistemas de producción tradicional.

El uso de este tipo de tecnologías, en la medida que se establezcan patrones experimentales válidos y aplicados a las necesidades de los productores permitirá mejorar las condiciones requeridas en los sistemas de producción acuícola para el manejo adecuado de los peces. Así mismo, disminuiría el impacto ambiental negativo en los cuerpos de agua originada por las excretas de los peces y los residuos de comida que contaminan los efluentes naturales.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el crecimiento y sobrevivencia en el levante de alevinos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en sistemas cerrados de recirculación de agua.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Evaluar varios modelos de crecimiento para alevinos de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en sistemas cerrados de recirculación de agua.
- Determinar algunos parámetros de desempeño productivo para el levante de alevinos de trucha arcoíris (*O. mykiss*) en sistemas cerrados de recirculación de agua.
- Estimar la sobrevivencia en el levante de alevinos de trucha arcoiris (*O. mykiss*) en sistemas cerrados de recirculación de agua.

3. INTRODUCCIÓN

La acuicultura ha avanzado rápidamente creando nuevas alternativas para la cría y el levante de peces. Con todo ello, el desarrollo de la acuicultura depende de los conocimientos de diversas disciplinas, algunas relacionadas con los peces en sí, como la fisiología y la genética, mientras otras están relacionadas con el ambiente, como el estudio limnológico del sistema de cultivo y los ciclos de vida de los organismos que constituyen el alimento (Hepher, 1998).

En los últimos diez años el consumo per capita anual de pescado y mariscos ha incrementado en la población colombiana pasando de 3.5 Kg a 6.5 Kg. La acuicultura aporta aproximadamente el 19% del producto consumido destacándose especies como la tilapia roja (*Oreochromis spp*), cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), cachama negra (*Colossoma macropomum*), trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), bocachico (*Prochilodus magdalenae*), mojarra o tilapia plateada (*Oreochromis niloticus*), carpa común y carpa espejo (*Cyprinus carpio* y *Cyprinus carpio var. Specularis*) (Roldán *et al.*, 2001).

4. MARCO TEÓRICO

4.1. ACUICULTURA

La acuicultura se define como el cultivo de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas. La actividad de cultivo implica la intervención del hombre en el proceso de cría para aumentar la producción en operaciones como la siembra, la alimentación, la protección de los depredadores, entre otros (Cardenas, 2004).

Colombia cuenta con adecuadas condiciones climáticas, topográficas, hidrológicas y edafológicas para desarrollar la acuicultura. Entre ellas se destaca su localización geográfica en la franja ecuatorial y por lo tanto como zona tropical.

4.1.1. Evolución histórica en Colombia

En Colombia la acuicultura se remonta hacia finales de la década de los años 30 cuando se introdujo al país la trucha arcoiris *Oncorhynchus mykiss* para repoblamiento de aguas de uso público en la zona Andina, específicamente en el Lago de Tota en Boyacá, con fines de pesca deportiva. Posteriormente se introdujeron la carpa *Cyprinus carpio* y la mojarra *Oreochromis mossambicus*, con las que se adelantaron las primeras experiencias de cultivo en estanques al disponerse de tecnología en otros países, pero con resultados no muy satisfactorios. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el Ministerio de Comercio Exterior, con la participación de los diferentes gremios y de las entidades que tienen que ver con el sector vienen impulsando el programa de cadenas productivas donde el INCODER hace parte de los comités de apoyo y seguimiento de las cadenas de piscicultura, cuyas especies promisorias son las tilapia, cachama y trucha, además del camarón de cultivo (Roldán *et al.*, 2001).

En Colombia la acuicultura ha tenido un crecimiento vertiginoso en los últimos años y su producción se ha incrementado de 1.256 toneladas en 1986 a 51.376 toneladas en 1999. Específicamente en el caso del cultivo de trucha la producción para el año de 1998 fue de 6.241 toneladas con un área estimada para su producción de 70 hectáreas. En este año la producción del subsector pesquero y acuícola presentó un crecimiento del 2% respecto a 1998 y aportaron el 4.05% al sector agropecuario y el 0.57% a la economía nacional; el promedio del aporte durante la última década es del 3.56% al sector agropecuario y del 0.51% a la economía nacional (Salazar, 2001).

A nivel nacional se estimó que el 66 % de la producción total proviene de la acuicultura industrial, intensiva o de gran escala: (camarón 16.2 %, tilapia roja 38.5 %, cachama 26.6 %, trucha 13.6 %). El 34% restante pudo catalogarse como acuicultura rural a mediana o pequeña escala (Salazar, 1999).

Para el año 2002 la producción total piscícola disminuyó aproximadamente unas 28.955 toneladas. La producción de trucha en toneladas métricas disminuyó notoriamente a un rango de entre 1.931-2.253 toneladas, debido principalmente a los problemas de orden público, un déficit fiscal de los municipios y entidades del Estado y falta de tecnologías y asesoramiento técnico y profesional conjuntamente con un estado de recesión económica (Salazar, 2002). Para el año 2007 se estimó una producción acuícola nacional de 46.267 t donde la trucha contribuyó con el 2% del total. Las zonas con mayores aportes fueron Antioquia (90.99 t), el Eje cafetero, Tolima y Cundinamarca (226.79 t), Santander (95.22 t) y resto del país (651.72 t) (Aldana *et al.*, 2007).

ESPECIE	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Bocachico	1202,9	1311,1	1473,9	2060,6	2064,7	2330,9	2447,4	2545,3	*	*
Cachama	12335,3	13445,5	6511,1	6922,6	7872,6	7720,4	7124,0	6767,8	17415,0	10424,3
Carpa	794,6	866,1	877,3	786,7	418,1	666,0	679,3	686,1	*	*
Tilapia	18203,7	19842,1	10176,0	11990,9	15223,8	17814,8	24307,0	27953,1	23146,0	27324,4
Trucha	6481,5	7064,8	2253,9	2048,9	1931,0	2996,9	3933,0	4079,2	2416,0	1064,7
Otros	403,5	439,8	348,7	773,8	1445,1	1165,5	1223,7	1260,4	5555,0	7453,5
Total	39421,5	42969,4	21640,9	24583,5	28955,3	32694,5	39714,4	43291,9	48532,0	46266,9

Tabla 1. Producción en toneladas métricas en piscicultura a nivel nacional entre los años 2002-2006. Los asteriscos (*) indican carencia y/o insuficiencia de datos. (Modificado de ENA 2007; Acuanal 2007; INCODER 2005; INPA 2001 citados por Andana *et al.*, 2007).

4.1.2. Sistemas de producción en acuicultura.

Según Salazar (2001) y Cardenas (2004), la acuicultura se puede clasificar según el tipo de producción, grado de manejo y tecnología empleada en: extensiva, semi-intensiva e intensiva.

1. Acuicultura extensiva: Es aquella en donde la acción del hombre se limita exclusivamente a la siembra y cosecha de una o varias especies en un cuerpo de agua determinado. No se realiza ningún tipo de manejo como fertilización y no se adiciona ningún tipo de alimento.
2. Acuicultura semi-intensiva: Es aquella donde la labor del hombre va más allá de la siembra y recolección de los organismos, generalmente ya existen estructuras especializadas para este fin (estanques, jaulas o cercas) y las técnicas de manejo se restringen a siembra, abonamiento, preparación incipiente y esporádica del estanque y en ocasiones se aplica algún tipo de alimento.

3. Acuicultura intensiva: Es aquella que se realiza empleando mayores densidades de siembra, se utiliza infraestructura adecuada, depende específicamente del alimento suministrado y requiere tecnología más especializada (manejo de flujos, sistemas de aireación. Para el cultivo intensivo en jaulas Coche (1976) citado por Instituto nacional de pesca (1995) encontró que las dimensiones de siembra normales para *O. mykiss* son de 300 dedinos por m³ y las máximas densidades finales de 40 kg/ m³.

Los sistemas de producción de trucha arcoíris son similares alrededor del mundo. Generalmente los peces son criados en sistemas de canales, cuya densidad varía de acuerdo al flujo del agua y la calidad del agua. Se manejan densidades de siembra entre 1.8 Kg/Lpm de flujo de agua en sistemas de canales que contienen aguas de primer uso hasta 9.6 kg /Lpm cuando todos los canales se encuentran unidos en serie (Stickney, 2000).

En Colombia para el cultivo de *O. mykiss* se requieren condiciones de calidad del agua muy diferentes en comparación con otras especies como las cachamas y tilapias. Se manejan densidades muy superiores (7 a 5 kilos por m²), la temperatura del agua para este tipo de cultivo oscila entre 10 y 18°C, con niveles de pH de 6 a 8 y los niveles de oxígeno de mínimo 4 mg/L. Las condiciones anteriores obligan a la realización de estos proyectos en zonas altas de las cordilleras y en algunos embalses de Cundinamarca y Boyacá (Ustate, 2002).

4.1.3. Fases de producción

Dependiendo de la forma de cultivo utilizada la producción de peces involucra al menos una de las siguientes fases: (1) resguardo y desove de peces, (2) criadero y mantenimiento de huevos, (3) estanques para producción de alevinos, y (4) engorde de alevinos para alcance de talla comercial (Swann, 1992).

En Colombia para el cultivo de *O. mykiss*, se emplean estanques de tierra, cemento o recubiertos con geomembrana de PVC, utilizando poca o abundante agua (Salazar, 2002).

4.2. SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN

Cuando el suministro de agua es insuficiente para satisfacer los requerimientos de los peces deben emplearse sistemas que implican la reutilización del agua, característica principal de los sistemas de recirculación (Bromage & Shepherd, 1999).

El uso de los sistemas de recirculación cerrados, ha sido históricamente asociado con aplicaciones investigativas, pero actualmente pueden ser utilizados para obtener mayores producciones a menores costos de operación, con respecto a los cultivos tradicionales (Caldwell, 1998). Lazur & Britt (2003), encontraron que en los Estados Unidos durante 1998 el 9% de la venta de tilapia, provenía de cultivos donde se utilizaron los sistemas cerrados de recirculación de agua.

Las ventajas de estos sistemas incluyen: flexibilidad en localización, mayor accesibilidad a los lotes de peces (fácil alimentación, muestreo y manejo), mayor grado de control de las variables ambientales (temperatura, pH, oxígeno disuelto, nitrógeno, etc.), y mayor producción de peces por volumen de agua (Dunning *et al.*, 1998).

Entre las desventajas se cuenta que puede presentar un mayor costo de la tecnología empleada, la calefacción (si se utiliza en zonas frías y si la especie a cultivar así lo requiere) la aireación y los filtros que requiere constante revisión que

dependen totalmente del operador para su excelente funcionamiento (Caldwell, 1998).

4.2.1. Componentes

Un sistema de recirculación utiliza varios componentes para filtrar continuamente las impurezas del agua (tanto partículas de la superficie, en suspensión o las que se depositan en el fondo) además existen innumerables diseños usados para sistemas de recirculación (Kidd, 2001).

Los componentes básicos necesarios para un sistema de recirculación cerrado son: (1) un tanque de cultivo, (2) uno o más filtradores, (3) un filtro de residuos solubles, (4) aireación, (5) un regulador de temperatura y (6) una bomba para mover el agua a través de los componentes del sistema (Caldwell, 1998; McGee & Cichra, 2000).

4.2.2. Aireación

El término aireación es usado para referirse a la disolución del oxígeno de la atmósfera dentro del agua. La transferencia de oxígeno puro en forma gaseosa al agua se define como oxigenación (Losordo *et al.*, 1999).

El agua debe ser aireada para mantener apropiadas las concentraciones de oxígeno disuelto y para el adecuado funcionamiento del filtro biológico (Parker, 2002). La aireación es usualmente aplicada en el tanque de cultivo de los peces y a veces se coloca también en orden de prioridad al sistema de filtración biológica (McGee & Cichra, 2000).

El nivel de aireación debe ser suficiente para sostener niveles de oxígeno disuelto por encima del 60% de saturación a través del sistema (Masser *et al.*, 1999).

4.2.3. Remoción de residuos sólidos

Los residuos sólidos resultan de los residuos de los peces y del alimento que no es consumido y contribuye a una porción de la demanda de oxígeno y junto con el amonio el cual en ciertas formas es muy tóxico y deben ser removidos del sistema (Parker, 2002).

Una rápida y eficiente remoción de las partículas reduce significativamente la demanda biológica realizada en el biofiltro, mejora el desempeño del biofiltro, disminuye el tamaño total del biofiltro requerido, y baja la demanda de oxígeno en el sistema (Masser *et al.*, 1999).

4.2.4. Filtración biológica

Los peces y otros organismos acuáticos liberan sus residuos nitrogenados en forma de amonio (NH_4) y son excretados principalmente a través de las branquias (Timmons *et al.*, 1995). Para controlar los niveles de amonio en sistemas de recirculación se debe proveer de una gran área para que se fijen las bacterias a las superficies e inicien el proceso de oxidación del amonio, el cual se transforma a NO_2 (nitrito) y el cual sufre otra oxidación para ser finalmente transformado en NO_3 (Nitrato) que es menos tóxico para los peces (Losordo *et al.*, 1992). Esto se logra con la ayuda de bacterias nitrificantes que se estabilizan en el biofiltro, para lo cual hay que esperar alrededor de dos semanas (Masser, *et al.* 1999).

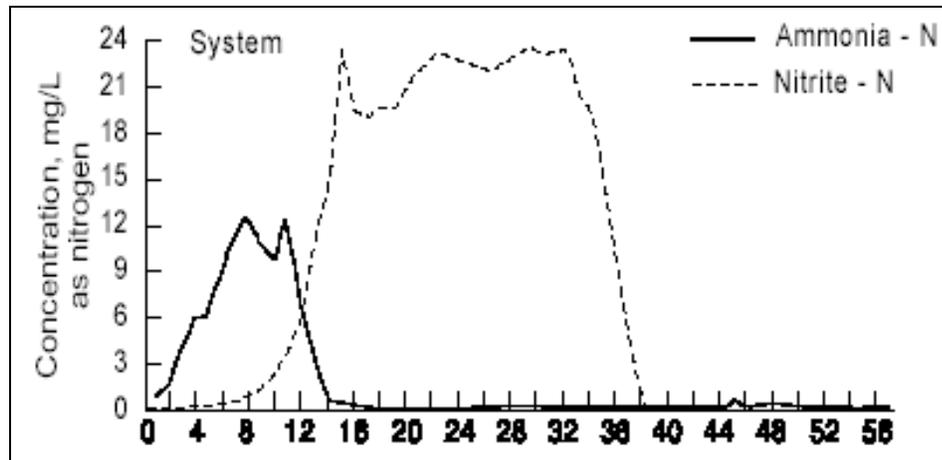


Figura 1. Curvas típicas de amonio y nitrito en días donde se muestra el tiempo necesario para el establecimiento de las bacterias nitrificantes en un biofiltro (Modificado de Masser *et al.*, 1999).

4.3. CALIDAD DEL AGUA

Se debe contar con un tiempo de acondicionamiento de los biofiltros, el amonio y el nitrito deben ser constantemente revisados, el oxígeno disuelto debe estar por encima del 60%, la temperatura, la alcalinidad, dureza y pH necesitan ser medidos y ajustados, si es necesario en intervalos regulares y los filtros deben ser limpiados cuando sea requerido (Yanong, 2003).

4.3.1 Temperatura

A óptimas temperaturas el crecimiento de peces es rápido, convierten el alimento eficientemente, y son relativamente más resistentes a varias enfermedades. La eficiencia del biofiltro además es afectada por la temperatura pero generalmente no es un problema (Masser *et al.*, 1999).

4.3.2. Oxígeno

El nivel de oxígeno disuelto presente en un sistema de acuicultura es el parámetro más importante en la calidad del agua. Si no existe una adecuada concentración de oxígeno disuelto los organismos pueden ser vulnerables a enfermedades y parásitos, o morir por hipoxia (Salazar, 2001).

Según la zona donde se establezca el cultivo es importante tener en cuenta que el nivel de saturación de oxígeno en el agua depende, entre otras cosas, de la temperatura y la altitud. A nivel del mar la saturación oxígeno disuelto en el agua es de 11.3 mg/L a 10°C y de 10.0 mg/L a 15°C; mientras que a una altitud de 910 msnm los niveles de oxígeno en saturación en el agua son de 10.1 mg/L y 8.9 mg/L para 10 y 15°C respectivamente (Stickney, 2000).

La disminución en la concentración de O₂ ocurre cuando el consumo excede a la producción. El incremento en el consumo de O₂ puede ser causado por una superpoblación de algas, por eventos estacionales, por el incremento en la entrada de residuos orgánicos, entre otros. (Floyd, 1992).

4.3.3. Nitrógeno

Dentro de los productos nitrogenados existen los nitritos (NO₂), los nitratos (NO₃) y el amonio (NH₄), el cual es el principal residuo liberado por los peces como subproducto del metabolismo proteico, este es degradado por las bacterias nitrificantes que convierten el amonio en nitrito (Masser *et al.*, 1999).

Existen dos formas de nitrógeno amoniacal, la forma ionizada (NH₄) y la no ionizada (NH₃) que es extremadamente tóxica para los peces. La fracción de amonio-nitrógeno en la forma ionizada depende del pH y la temperatura del agua, por lo tanto en un pH de 7.0, la mayoría del nitrógeno y amonio está en la forma

ionizada, mientras que en un pH de 8.0 la mayoría se encuentra en la forma no ionizada (Ebeling *et al.*, 1995).

Tabla 2. Porcentaje de NH₃ en una solución acuosa amoniacal a distintas temperaturas y pH (Modificado de Emerson y Col 1975, citado en Blanco 1994). Según Stickney, (2000) el nivel de mantenimiento para *O. mykiss* se encuentra en el rango de 6.5-9 de pH).

T (°C)	pH				
	6.0	6.5	7.0	7.5	8
10	0.0186	0.0589	0.186	0.586	1.83
11	0.0201	0.0637	0.201	0.633	1.97
12	0.0218	0.0688	0.217	0.684	2.13
13	0.0235	0.0743	0.235	0.738	2.30
14	0.0254	0.0802	0.253	0.796	2.48
15	0.0274	0.0865	0.273	0.859	2.67
16	0.0295	0.0933	0.294	0.925	2.87
17	0.0318	0.101	0.317	0.996	3.08
18	0.0343	0.108	0.342	1.07	3.31
19	0.0369	0.117	0.396	1.24	3.56
20	0.0397	0.125	0.396	1.24	3.82

Es importante tener en cuenta que la concentración de CO₂, también modifica la toxicidad del amonio no ionizado; así, un incremento del CO₂ en el agua reduce el valor del pH y disminuye la toxicidad de la solución. Una disminución en la concentración de O₂ disuelto, aumenta la toxicidad del amonio y una tasa elevada de bicarbonatos, alcaliniza el pH y, como consecuencia, aumenta su toxicidad (Blanco, 1994).

4.3.4. PH, Alcalinidad y Dureza

El pH se define como la concentración de H⁺ en una solución acuosa e indica el grado de acidez o de alcalinidad de las soluciones (Lehninger, 2000). El pH del agua afecta el estado de otros parámetros de la calidad del agua, por lo

tanto es considerado un parámetro importante para ser monitoreado y controlado en los sistemas de recirculación (Boyd, 1990).

La alcalinidad corresponde a la concentración total de bases en el agua y se expresa como mg/L de carbonato de calcio equivalente y está representada por iones carbonato (CO_3) y iones bicarbonatos (HCO_3). Los iones bicarbonatos y los carbonatos son las principales fuentes de alcalinidad en la mayoría de los cuerpos de agua, cumpliendo funciones de amortiguador del agua, manteniendo estable el nivel de pH (Losordo *et al.*, 1992).

La dureza total o general se define como la concentración de iones, básicamente calcio y magnesio y se expresa como mg/L de carbonato de calcio equivalente (Rodríguez & Anzola, 2001).

Tabla 3. Clasificación del agua según su dureza (Rodríguez & Anzola, 2001).

Dureza (mg/L)	Clasificación
0-70	Blanda
75-50	Moderadamente blanda
150-300	Dura
300<	Muy dura

4.4. SALUBRIDAD EN SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN

Debido a que los sistemas de recirculación son sistemas generalmente de tipo intensivo, donde usualmente se manejan densidades de 0.3kg/L o inclusive mayores, el manejo adecuado de las condiciones de cultivo en el sistema es vital para el adecuado desarrollo de los individuos (Masser *et al.*, 1999). La calidad del agua puede ser más inestable en los sistemas de recirculación en tanque que en sistemas de estanque o en sistemas de canales. Estas fluctuaciones en la calidad

del agua, tales como el incremento temporal en la concentración de amonio y/o en el de nitrito, pueden por si mismos, resultar en la aparición de enfermedades o en pérdidas significativas (Yanong, 2003).

Para proveer un adecuado ambiente para la producción intensiva de peces, los sistemas de recirculación deben mantener además tasas de flujo de agua constantes, niveles regulares del volumen de agua y funcionamiento interrumpido. Cada segundo o tercer día de operación los sólidos que se depositan sobre el fondo deben ser retirados a través de sifoneo, esta operación requiere además que la bomba de agua sea desconectada. Diariamente además se deben lavar las mallas o espumas filtradoras de las bombas de agua para evitar taponamientos y reducciones en la tasa de flujo de agua. Recambios de agua madurada (19 - 37 L) debe ser realizados como reemplazo del agua que se perdió debido a las operaciones de limpieza (Ebeling *et al.*, 1995).

4.4.1. Enfermedades

La mayoría de los problemas que se presentan son causados por procesos patológicos, tales como bacterias, hongos, parásitos y virus. El tipo de agente infeccioso influye en los signos clínicos, que pueden variar desde pequeñas irritaciones en la piel en algunos peces hasta un repentino brote de una enfermedad, en la que el conjunto de peces muestra un apetito reducido, estado letárgico hasta llegar a la muerte, ocasionando grandes pérdidas económicas (Bromage & Shepherd, 1999).

4.4.2. Desinfección y tratamiento de enfermedades

Las enfermedades pueden extenderse rápidamente si se sobrepasa la capacidad de carga de los sistemas de recirculación, por lo tanto es muy importante conocer las densidades de peces que puede soportar el sistema,

teniendo una buena calidad de agua, sin olvidar los recambios de agua que se deben hacer para prevenir el brote de cualquier enfermedad. Existen varios químicos usados para tratar enfermedades, pero pueden tener un efecto devastador en las bacterias nitrificantes dentro del biofiltro del sistema de cultivo, por lo cual que han implementando nuevas técnicas que incluyen la continua desinfección del agua reciclada con ozono o radiación ultravioleta (Losordo *et al.*; 1999).

Las enfermedades pueden ser introducidas dentro del sistema a partir del agua que se utiliza para los tanques, por medio de los peces que son introducidos en el sistema y a través del equipamiento utilizado en el sistema (redes, mayas, tuberías, equipo de trabajo, etc.) (Losordo *et al.*; 1999).

Otra alternativa para el control de las enfermedades o como prevención de las mismas es la utilización de sal (NaCl), que tiene un bajo costo, es fácil de conseguir y cuando es suministra apropiadamente, es segura de utilizar en peces de agua dulce. Posee potenciales aplicaciones en el control de varios parásitos (protozoarios de las branquias y de la epidermis), además permite ser utilizada en estabilización osmoregulatoria, producción de mucus y mitigación de la metemoglobinemia en peces de agua dulce (Floyd, 1995).

4.5. ASPECTOS BÁSICOS PARA EL CULTIVO DE LA TRUCHA ARCOIRIS (*O. mykiss*).

La cría de esta especie constituye un renglón importante de la actividad piscícola del país tanto del nivel tecnológico por los procedimientos de manejo que actualmente se aplican y los sistemas avanzados de operación (Bromage & Shepherd, 1999).

4.5.1. Clasificación taxonómica (Camacho *et al.*, 2000).

Phylum	Cordata
Subphylum	Vertebrata
Clase	Osteichthyes
Subclase	Actinopterygii
Superorden	Teleostei
Orden	Clupeiformes
Familia	Salmonidae
Subfamilia	Salmoninae
Género	<i>Oncorhynchus</i>
Especie	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Nombre Común	Trucha arcoíris

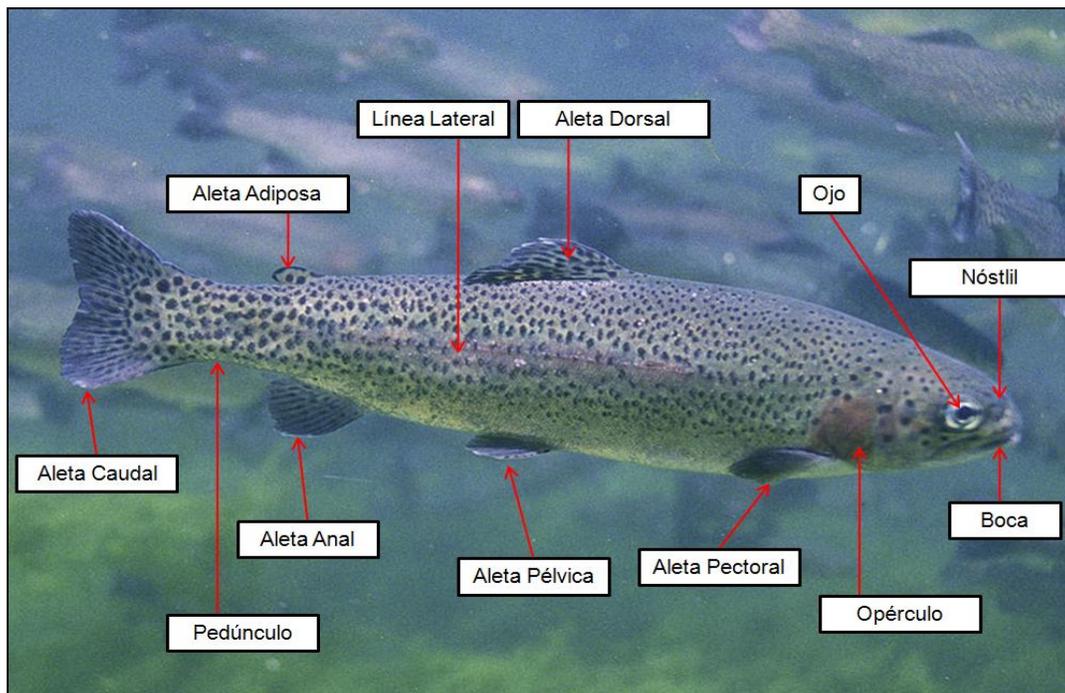


Figura 2. Aspecto general y morfología de un individuo adulto de *O. mykiss* (Modificado de It'snature, 2009).



Figura 3. Aspecto general de un alevín de *O. mykiss* (Tomado de University of California, 2003).

La trucha arcoíris es miembro del genero *Oncorhynchus*, el cual además incluye al salmón del Pacífico, y miembros de la familia Salmonidae (Ej., Salmón del Atlántico, trucha, trucha alpina, huchon, entre otros grupos). Es nativa de ambientes de aguas frías propias del norte de zonas templadas y se encuentran distribuidas desde el sur de California pasando por Alaska, las Aleutianas y las zonas del oeste del Pacífico (Stickney, 2000).

4.5.2. Características y descripción de la especie

La trucha arcoíris (*O. mykiss*) es un salmónido que se caracteriza por presentar cuerpo alargado, fusiforme y cabeza relativamente pequeña que termina en una boca grande puntiaguda, con dientes fuertes en cada una de las mandíbulas que le permiten aprisionar las presas capturadas, características propias de un pez con hábitos carnívoros (Sedgwick, 1988).

Hacia la mitad del cuerpo se ubica la primera aleta dorsal formada por radios blandos. Posteriormente a ésta aparece una pequeña aleta de función desconocida y carácter adiposo, opuesta a ésta y centralmente se encuentra la

aleta anal. Estas aletas sirven de timón en el desplazamiento. En la parte ventral presenta dos pares de aletas pectorales las cuales tienen una función estabilizadora, también posee las aletas pélvicas o ventrales las cuales actúan como remos y están ubicadas en la sección mediaposterior del pez. Finalmente posee una aleta caudal homocerca de función propulsora. (Cardenas, 2004).

La coloración típica de la trucha arcoíris varía del azul a verde oliva por encima de la línea lateral, presenta además una banda rosada a lo largo de la línea lateral y una banda plateada por debajo de esta. La espalda, las zonas laterales, la cabeza y las aletas están generalmente recubiertas con pequeños puntos negros (Shelton, 1994.)

4.5.3. Hábitos alimenticios

En su estado natural la trucha es un pez con hábitos carnívoros. Durante los estados larvales se alimentan del saco vitelino, cuando empieza el consumo de alimento exógeno se alimenta principalmente de zooplancton y posteriormente consume crustáceos, moluscos, insectos y pequeños peces (Garavito, 2000).

4.5.4. Aspectos reproductivos

Es un pez de carácter reofílico que remonta las corrientes para finalizar su ciclo reproductivo presentando cortejo y la emisión simultánea de los productos sexuales. Cuando el pez se encuentra en las últimas etapas de su madurez permanece cerca de la desembocadura del curso de agua que va a migrar, que por lo general es el mismo cuerpo de agua en el cual nació (Hepher, 1998).

Para la reproducción en cautiverio se necesita la maduración de las hembras. Sin embargo, en las condiciones tropicales se inicia a partir del decimoctavo mes de vida llegando a su madurez total alrededor del segundo año (Stevenson, 1992).

Por las condiciones tropicales del país el desove ocurre cada seis u ocho meses. La fecundidad de la especie es de 1500 a 2000 huevos por kilogramo de peso/ desove, lo que permite calcular el número de ejemplares necesarios para una determinada producción (Garavito, 2000).

4.5.5. Ecología

La especie *O. mykiss* ocupa espacios acuáticos con aguas puras y cristalinas que discurren por cauces con notables desniveles topográficos, que originan rápidos, saltos y cascadas, típicos de los ríos de alta montaña. Prefieren aguas alcalinas, debido a que promueve la existencia de organismos acuáticos de los que la especie se alimenta. (Blanco, 1994).

4.5.6. Calidad del agua en el cultivo de trucha arcoíris

Los salmónidos son peces muy exigentes en cuanto a las condiciones del medio acuático en donde viven, y con baja capacidad para adaptarse a otras condiciones ambientales que no sean las propias a las de su ambiente natural. Entre las propiedades físicas las la temperatura, el pH, y saturación de oxígeno en el agua son las mas importantes, siendo mas sensibles a variaciones bruscas por parte de factores externos (físicos). Entre las propiedades químicas se destacan la concentración de amonio, nitrito y dureza (Blanco, 1994).

Tabla. 4. Principales parámetros de la calidad del agua en el cultivo de *O. mykiss* (Blanco, 1994; Chiodo, 1998; Stevenson, 1999; Stickney, 2000).

Parámetro	Unidad de medida	Valor	Observación
Temperatura	°C	15	Tolera hasta 25°C por periodos cortos
Oxígeno disuelto (O ₂)	mg/L	5	Puede sobrevivir en aguas con 3 mg/L
pH	-	6.5 - 9.5	Valores inferiores a 5 y superiores a 9.5 son letales
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/L	<1	A pH de 8.5
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	<0.2	-
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	<10	-

4.5.7. Crecimiento

El crecimiento en longitud de los peces describe normalmente una curva de tipo exponencial, suele ser de un crecimiento rápido al principio, cuando el pez es joven y más lento a medida que aumenta la edad y que este alcanza el tamaño de longitud máxima. El crecimiento en peso sigue un patrón diferente que describe una curva sigmoidea. En las primeras etapas de la vida el pez el incremento en peso es muy lento (Castro, 2004).

La velocidad de crecimiento de *O. mykiss* se encuentra influenciada por varios factores. Entre los más destacados se encuentran la concentración de oxígeno, puesto que alevines de 0.1 g necesitan de 1200-1800 mg de O₂/Kg/h para satisfacer su actividad metabólica, además se influyen la temperatura, el alimento suministrado y el tamaño del pez (Blanco, 1994).

La temperatura influye sobre la tasa de crecimiento debido a que *O. mykiss* es una especie poiquiloterma. Para fines de producción piscícola la temperatura adecuada es de 15°C (Tabla 4).

En sistemas de cultivo extensivo como en lagunas el crecimiento varía según las características del ambiente y el manejo de los peces. Según Chiodo (1998), la variación en el crecimiento individual puede oscilar entre 100- 1500 g/año.

De otra parte el estudio realizado por Stevenson (1999), demuestra que para los alevines de 2.5 cm, el peso alcanzado en promedio es de 0.30 Kg, por cada 1000 individuos mientras que los dedinos pueden alcanzar un peso de 18.87 kg con una talla de 12 cm, esto se puede observar en la tabla 5.

Tabla 5. Relación entre la longitud y el peso en trucha (Stevenson, 1999).

Longitud (cm)	N_o * Kg	Peso de cada 1000 en Kg
2.5	3300	0.30
3.2	2650	0.40
3.7	1875	0.68
4.5	1100	0.91
5	750	1.32
6.5	385	2.59
7.5	220	4.54
9	145	6.85
10.2	100	10.07
11.5	66	15.10
12.7	53	18.87
14	35	28.35
15	29	34.52
16.5	22	45.36
17.7	16	64.77
19	12	90.72
20.5	10	102.06
23	7	142.88
25.5	5	201.85
28	3.6	273.97
30.5	1.6	354.72

4.5.8. Nutrición y alimentación

Las dietas para las larvas y los dedinos de *O. mykiss* requieren un alto requerimiento de proteína y contenido energético que los individuos de mayor tamaño. El alimento para alevinos y dedinos de *O. mykiss* debe contener aproximadamente 50% de proteína y 15% de grasa; el alimento para individuos mayores debe contener cerca de 40% de proteína y 10% de grasa (Hinshaw, 1999).

La cantidad de alimento varía con la temperatura y el tamaño del pez. A temperaturas de 3°C los individuos necesitan de 0.5-1.8% del peso corporal/día resultando en una baja conversión alimenticia. En temperaturas por encima de 3°C el metabolismo se incrementa con la temperatura hasta aproximadamente 18.2°C. Las optimas temperaturas para el crecimiento se encuentran entre los 12.7-18°C, donde las tasas de alimentación pueden llegar a los máximos niveles (1.5-6% del peso corporal/día). Debido a las altas tasas metabólicas los alevinos y los dedinos requieren mayor proporción de alimento con relación a su peso corporal que los individuos juveniles y adultos (Hinshaw, 1999).

Tabla 6. Tasas de alimentación para *O. mykiss* como porcentaje de peso corporal por día (Modificado de Hinshaw, 1999).

	Temperatura en Grados Centígrados				
Numero/lb	11 - 12	13 - 14	14 - 15	16 - 17	18 - 19
1500	5	5.5	6.1	6.6	6.9
1200	5.2	5.9	6.5	6.9	7.1
600	5.1	5.8	6.2	6.5	6.8
300	5	5.6	5.8	6.1	6.3
200	4.8	5.2	5.4	5.7	5.8
100	4.6	4.8	5.0	5.4	5.5

4.5.10. Supervivencia

La supervivencia de *O. mykiss* varía ampliamente dependiendo, entre otros factores, de la densidad, del tamaño de los peces y de las condiciones ambientales en las cuales son mantenidos (Knights, 1985; Wallace *et al.*, 1988; Kjartansson *et al.*, 1988; Laidley & Leatherland, 1988 citados por Alvarado, 1999). Además está determinada por otros factores tales como la alimentación y la condición genética (Bastardo, 1994). En los estadios de alevines y de dedinos se reportan supervivencias del 85% en sistemas de tinas de vidrio para alevines, y de 98.5-95% en sistemas de canales y de concreto para dedinos (Ceballos y Velázquez, 1988).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se llevo a cabo en el laboratorio de acuicultura, de la Estación Experimental Rio Grande, Cajicá, de la Universidad Militar Nueva Granada. Inicio en el mes de marzo de 2006 y culminó en el mes de diciembre de 2006, para un total de 6 meses.

Se construyó un sistema de recirculación de agua (SRA) tipo sencillo para cría de peces en tanque con biofiltro sumergido (Brown 2000 citado por Galli & Sal 2007), luego se realizó la siembra de los peces de *O. mykiss*, población a la que se le efectuó un seguimiento en el crecimiento, la supervivencia y las condiciones fisicoquímicos durante el tiempo de ejecución del proyecto.

5.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

Para la elaboración de SRA, se utilizó un tanque de plástico de 500L, el cual fue lavado con agua caliente para luego ser llenado de agua para dejarla en reposo durante la noche, con el fin de retirar residuos absorbidos por el plástico. Al tanque se le hizo un orificio de 2.25 cm de diámetro, ubicado a 5 cm por encima del nivel inferior del tanque (fondo), que cumplió la función de orificio de drenaje para el limpiado del tanque (Figura. 4).

Dentro de este tanque se colocó una bomba de agua (Resun SP 2500 L, V 220-240V, 18W, salida 1400 L/h). La bomba de agua estaba conectada una manguera de 2.54 cm de diámetro y 1.30 m de longitud que transportaba el agua al tanque del biofiltro. Adicionalmente se ubicaron dos bombas de aire (Elite 802 E de 2000 cc; dos salidas) al tanque de 500L para proporcionar aireación a los organismos (Figura 4).

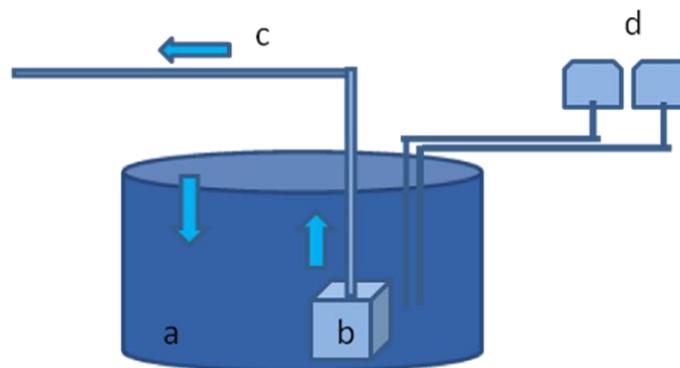


Figura 4. Esquema del tanque para peces: (a) Tanque. (b) Bomba de agua. (c) Manguera comunicante. (d) Bombas de aireación.

El biofiltro estaba conformado por un tanque de 90 cm de alto y de 50 cm de diámetro, al cual se le adaptó una tubería de PVC de 93 cm y de 2.54 cm de

diámetro, la cual cumplía el propósito de recolectar el agua del fondo del biofiltro y llevarla de nuevo al tanque para peces (Figura. 5).

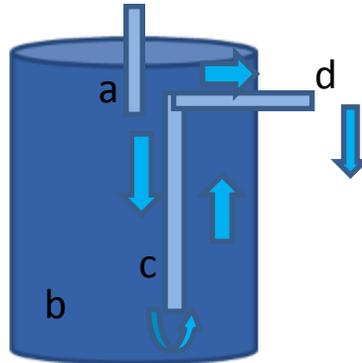


Figura 5. Esquema representativo del diseño del biofiltro. Las flechas indican la dirección del flujo de agua. (a) Entrada de agua. (b) biofiltro. (c) Tubería interna del biofiltro. (d) Salida de agua para el tanque de peces.

Al biofiltro se le colocó una capa de grava de 22.5 cm de altura y con un diámetro aproximado de 2-3 cm. Luego se relleno hasta una altura de 40 cm con piedra de acuario de menor tamaño entre un rango de 0.5-1 cm de diámetro. Posteriormente sobre este sustrato se colocó 250 g de carbón activado envuelto en 50 cm² de guata (Figura 5).

Todo el material de relleno a excepción del carbón activado fue previamente lavado y dejado durante dos días en una solución al 4% de hipoclorito en 100 L de agua. Luego de este procedimiento el sistema se lleno con agua para eliminar el cloro presente y observar si había fugas de agua en el sistema, este periodo comprendió 7 días.

Trascurrido este tiempo se efectuó una inoculación de bacterias antes de la introducción de los peces. Para la adecuación del biofiltro se utilizó un suplemento biológico (Nutrafin Cycle ®) en una dosificación de 10 ml por cada 35 L de agua.

El sistema se mantuvo funcionando durante dos semanas para promover la maduración biológica del agua (Figura 6).

Pasado este tiempo se procedió a la siembra de los alevines, los cuales fueron adquiridos en Acuagranja Ltda, comercializadora certificada, teniendo cuidado de obtener peces con apariencia sana (ausencia de manchas blancas en la piel, aletas en buen estado, buen nivel de actividad, posición horizontal al nadar, buen brillo y desarrollo del colorido propio de la especie) Ebeling *et al.*, (1995); Stevenson, (1999). El sistema, se cubrió con polisombra del 45% en la parte superior del tanque de peces para evitar escapes. Los peces fueron mantenidos con un fotoperíodo natural de 12 h: 12 h (luz: oscuridad).

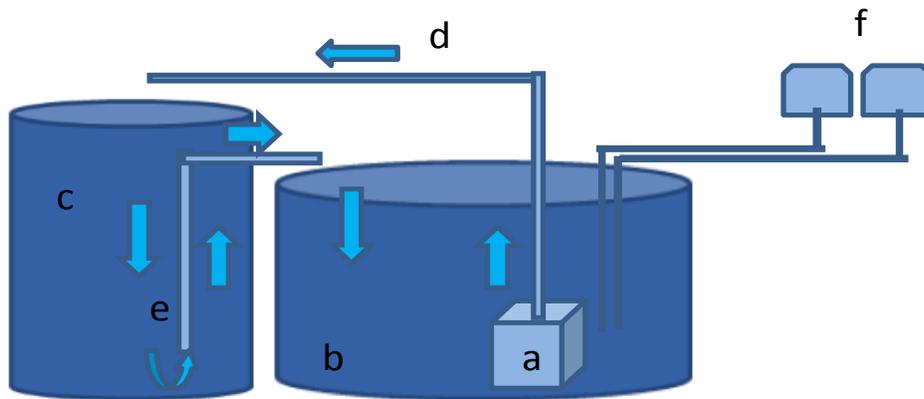


Figura 6. Esquema simplificado del Sistema de Recirculación de Agua (SRA) empleado. (a) bomba. (b) Tanque. (c) Biofiltro. (d) Manquera comunicante. (e) Tubería del biofiltro. (f) Bombas de aireación. Las flechas indican la dirección del flujo de agua.

5.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se trabajó con tres grupos A, B y C con tres replicas (SRA), que consistieron en una población de 50 alevines/sistema, sumando un total de 150 alevinos por cada grupo evaluado.

Los peces sufrieron un proceso de aclimatación previa al inicio de periodo de cultivo. La población de 150 individuos ubicada en una bolsa plástica con capacidad de 20 L proporcionada por la comercializadora, fue parcialmente sumergida en el agua de uno de los SRA durante un periodo de 1 hora. Cada 15 minutos se reemplazaba el agua de la bolsa con agua del SRA previamente madurada a un volumen del 25% del volumen total del agua contenida en la bolsa plástica. A continuación los peces fueron liberados en el SRA y no fueron alimentados en un periodo de 24 horas. Los organismos fueron mantenidos en cuarentena durante un periodo de 15 días; diariamente fueron revisados en búsqueda de signos o síntomas de agentes patógenos (ausencia de manchas blancas en la piel, aletas en buen estado, buen nivel de actividad, posición horizontal al nadar, buen brillo y desarrollo del colorido propio de la especie) Ebeling *et al.*, (1995); Stevenson, (1999).

Los peces fueron mantenidos en experimento por un periodo de 30 días calendario. Pasado este tiempo se retiraron los peces de cada SRA, realizando una limpieza y desinfección de todos los componentes de SRA y se montaba un nuevo grupo experimental. Este procedimiento se realizó para cada grupo evaluado A, B y C.

Para el análisis de los valores obtenidos de peso, longitud total y longitud estándar, se realizó una prueba de normalidad (Shapiro & Wilk), posteriormente si los datos presentaban una distribución normal se realizaba un análisis de varianza ANOVA y una prueba de Tukey HSD para observar si había diferencias entre

grupos y entre replicas por cada muestreo realizado, con un nivel de significancia del 5 % ($P < 0.05$). A partir de los datos obtenidos se construyeron las curvas de crecimiento para los parámetros de peso promedio, longitud total promedio y longitud estándar promedio. Se evaluaron tres modelos de crecimiento (lineal, exponencial y potencial). También se determinaron las correlaciones entre el peso y la longitud total para cada grupo evaluado. Adicionalmente se calcularon los parámetros de producción para cada uno de las replicas para cada grupo. Para todas las pruebas y análisis estadísticos se utilizó el software R versión 2.8.1 de libre distribución en Internet (<http://www.r-project.org/>).

5.3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN

Semanalmente se revisaban las mallas ubicadas tanto en la salida como entrada de agua eliminando detritos y residuos de alimento acumulados entre los poros de estas, así mismo se realizaba un sifoneo del fondo del tanque de peces, se inspeccionaba la aireación suministrada por las bombas de aire con el fin de reemplazar cables obstruidos, o piedras de difusión inservibles. Al biofiltro se le adicionaba quincenalmente el producto Nutrafin Cycle ® a la concentración antes mencionada, a los peces se les realizaba una inspección visual en busca de algún síntoma de enfermedad o presencia de patógenos. Quincenalmente se realizaba recambios del 25% del agua, se agregaban 200 g de NaCl, para prevenir enfermedades.

5.4. ALIMENTACIÓN

Para la alimentación de los individuos se suministró una ración diaria con Truchina con 50% de proteína bruta para etapa de iniciación (dividida en tres raciones) a intervalos de tres horas (7:30, 10:30 y 13:30) equivalente al 10% del peso promedio individual. El cálculo del alimento suministrado se corregía

quincenalmente, a partir de los datos obtenidos en cada uno de los muestreos de peso realizados.

5.5. REGISTRO DE VARIABLES

5.5.1. Crecimiento.

Se realizó un muestreo inicial (1) y dos muestreos quincenales (2 y 3) entre las 9:00 y 11:00 de 10 individuos tomados al azar de cada una de las réplicas por grupo, a los cuales se les tomaron medidas de peso (P), con la ayuda de una balanza analítica (Modelo KERN ALS 120-4N) y de longitud total (LT) y longitud estándar (LS), con la ayuda de un calibrador Vernier.

5.5.3. Fisicoquímicos

Se midieron quincenalmente los siguientes parámetros fisicoquímicos: amonio, amonio no ionizado, nitrito, pH, dureza general y temperatura, utilizando kits para análisis de agua dulce (Nutrafin Aquarium Tes for Fresh Water; Canada: ROLF C: Hagen INC., Montreal, Qc H4R 1E8). Para el pH y la temperatura se utilizó un pH.

Todos los datos se registraron en una planilla, donde se reportó los datos obtenidos para cada parámetro evaluado (ver anexo 9).

5.5.2. Parámetros de producción

Con referencia al cálculo de los parámetros de producción se utilizaron las siguientes formulas:

La ganancia en peso fue obtenida a partir de la siguiente expresión matemática (Mercado, 2006):

$$\mathbf{GP = (Peso\ promedio\ final\ (g) - Peso\ promedio\ inicial\ (g))}$$

Se determinó la tasa de crecimiento específico (TCE) a partir de la siguiente fórmula (Alvarado, 1999).

$$\mathbf{TCE = 100 * [(Ln\ Peso\ final\ (g) - Ln\ Peso\ inicial\ (g))/t]}$$

Donde el tiempo (t) es en días.

Para la obtención de la tasa de crecimiento absoluto (TCA) se utilizó la siguiente fórmula (Arce & Figueroa, 2003).

$$\mathbf{TCA = (Peso\ final\ (g) - Peso\ inicial\ (g)) / (T2 - T1)}$$

TCA = Tasa de crecimiento absoluto

T2 = Tiempo en duración en días del cultivo

T1 = Tiempo de iniciación del cultivo en días.

El Factor de condición (K), fue calculado a partir de la relación matemática entre el peso y la longitud utilizada por Alvarado (1998); Bastardo & Sonia (2003); Morales (2004).

$$\mathbf{K = (P / L^3) * 100}$$

P = Peso Promedio (g)

L = Longitud promedio (cm)

El Factor de conversión alimenticia (FCA) se calculó con base en la relación alimento consumido y la ganancia en peso (Zapata *et al*; 2008; Morales, 2004; Alvarado, 1999).

$$\mathbf{FCA = AL / GP}$$

AL = Alimento consumido (g)

GP = Ganancia en peso (g)

Se determinó la sobrevivencia a partir de la diferencia entre el número final e inicial de individuos (Pineda, 1999).

$$\mathbf{S= (NPf/NPi)*100}$$

S= Sobrevivencia expresada en %

NPf = Numero de peces final

NPi = Número de peces inicial

6. RESULTADOS

6.1. FISICOQUÍMICOS

Tabla 7. Niveles de amonio total, amonio no ionizado, nitrito, dureza general disueltos en el agua en miligramos por litro (ml/L), y valores de pH y temperatura en (°C) registrados en las réplicas correspondientes a los grupos A, B y C en los muestreos realizados durante el estudio. El muestreo (1) corresponde a los valores iniciales de los parámetros del agua evaluados.

Grupo	Replica	Muestreo	Amonio Total	Amonio no Ionizado	Nitrito	Dureza General	pH	T °C
A	A1	1	0	0	0	40	7.84	16.4
		2	0.1	0	0.1	40	6.96	15.7
		3	0	0	0	20	5.35	16.9
	A2	1	0	0	0	40	7	16.4
		2	0.1	0	0.1	40	6.19	15.7
		3	0.6	0	0.1	60	5.3	16.9
	A3	1	0	0	0	20	7.14	16.4
		2	0.1	0	0.1	40	6.18	15.7
		3	0	0	0.1	20	5.36	16.9
B	B1	1	0	0	0	20	7.18	15.4
		2	0	0	0.1	20	6.6	16.5
		3	0	0	0.3	40	6.15	16.6
	B2	1	0	0	0.1	20	6.86	15.4
		2	0	0	0.1	40	6.6	16.5
		3	0.6	0	0.1	20	5.97	16.6
	B3	1	0	0	0	20	6.96	15.4
		2	0	0	0.1	20	6.6	16.5
		3	0.6	0	0.1	40	5.38	16.6
C	C1	1	0.6	0	0	20	6.94	16.6
		2	0.6	0	0.1	40	6.2	17
		3	0.6	0	0	40	6	16
	C2	1	0.6	0	0	20	6.8	16.6
		2	0.6	0	0.1	40	6.46	17
		3	0.6	0	0	40	6.1	16
	C3	1	0.6	0	0	20	6.8	16.6
		2	0.6	0	0	20	5.59	17
		3	0.6	0	0.1	40	6	16

6.2. CRECIMIENTO

Tabla 8. Aumento en peso (g) a nivel de muestreos en las replicas de los grupos A, B y C durante el periodo de cultivo (letras diferentes entre filas muestran diferencias significativas, $P < 0.05$). El muestreo 1 corresponde a los valores iniciales de peso promedio.

Grupo	Muestreo Peso (gr)		
	1	2	3
A1	0.7015 ± 0.18a	2.052 ± 0.56b	5.414 ± 1.61c
A2	0.7075 ± 0.17a	2.201 ± 0.74b	5.565 ± 1.61c
A3	0.622 ± 0.21ab	1.868 ± 0.8bc	2.6676 ± 0.49bc
B1	0.5114 ± 0.16ab	1.235 ± 0.30ab	3.282 ± 0.94c
B2	0.4891 ± 0.09ab	1.088 ± 0.31ab	3.504 ± 1.16c
B3	0.4199 ± 0.06ab	1.309 ± 0.26ab	3.254 ± 1.02c
C1	0.5989 ± 0.20a	1.944 ± 0.8b	3.308 ± 0.97c
C2	0.7246 ± 0.208a	2.14 ± 0.7b	3.445 ± 0.78c
C3	0.6066 ± 0.17ab	1.762 ± 0.46ab	3.293 ± 1.26c

Tabla 9. Aumento en longitud total promedio (cm) entre muestreos de los grupos A, B, y C durante el periodo de cultivo (letras diferentes entre filas muestran diferencias significativas, $P < 0.05$). El muestreo 1 corresponde a los valores iniciales de longitud total promedio.

Grupo	Muestreo Longitud Total (cm)		
	1	2	3
A1	4.14 ± 0.24a	5.35 ± 0.66b	7.37 ± 0.56c
A2	4.21 ± 0.20a	5.5 ± 0.47b	7.69 ± 0.82c
A3	4.11 ± 0.39a	5.13 ± 0.81b	6.37 ± 0.39c
B1	3.49 ± 0.20; ab	4.38 ± 0.5ab	6.03 ± 0.62c
B2	3.45 ± 0.21ab	4.32 ± 0.53ab	6.07 ± 0.86c
B3	3.48 ± 0.20a	4.62 ± 0.26b	5.95 ± 0.85c
C1	3.83 ± 0.40a	5.19 ± 0.79b	6.27 ± 0.67c
C2	4.03 ± 0.38a	5.41 ± 0.74b	6.46 ± 0.56c
C3	3.85 ± 0.38a	5.39 ± 0.43bc	6.32 ± 0.85bc

Tabla 10. Aumento en longitud estándar (cm) en los muestreos de los grupos A, B y C durante el periodo de cultivo (letras diferentes entre filas muestran diferencias significativas, $P < 0.05$). El muestreo 1 corresponde a los valores iniciales de Longitud estándar promedio.

Grupo	Muestro Longitud Estandar (cm)		
	1	2	3
A1	3.67± 0.16a	4.85± 0.67b	6.73± 0.64c
A2	3.7± 0.2a	5± 0.47b	6.71± 0.74c
A3	3.61± 0.39a	4.64± 0.8bc	5.39± 0.43bc
B1	3.01± 0.16ab	3.83± 0.47ab	5.4± 0.52c
B2	2.96± 0.16ab	3.84± 0.50ab	5.52± 0.65c
B3	3.02± 0.22a	4.05± 0.31a	5.18± 0.75c
C1	3.34± 0.38a	4.69± 0.77bc	5.42± 0.65bc
C2	3.54± 0.35a	4.69± 0.69b	5.63± 0.45c
C3	3.34± 0.37a	4.73± 0.47bc	5.49± 0.81bc

6.3. CORRELACIONES PESO- LONGITUD TOTAL

Tabla 11. Modelos obtenidos a partir de las correlaciones del peso y la longitud total para los grupos A, B y C respectivamente.

Grupo	Modelo	Ecuación	(R ²)
A	Corr	$y = 1.352x - 5.072$	0.89
B	Corr	$y = 1.128x - 3.562$	0.94
C	Corr	$y = 1.08x - 3.629$	0.92

6.4. MODELOS DE CRECIMIENTO

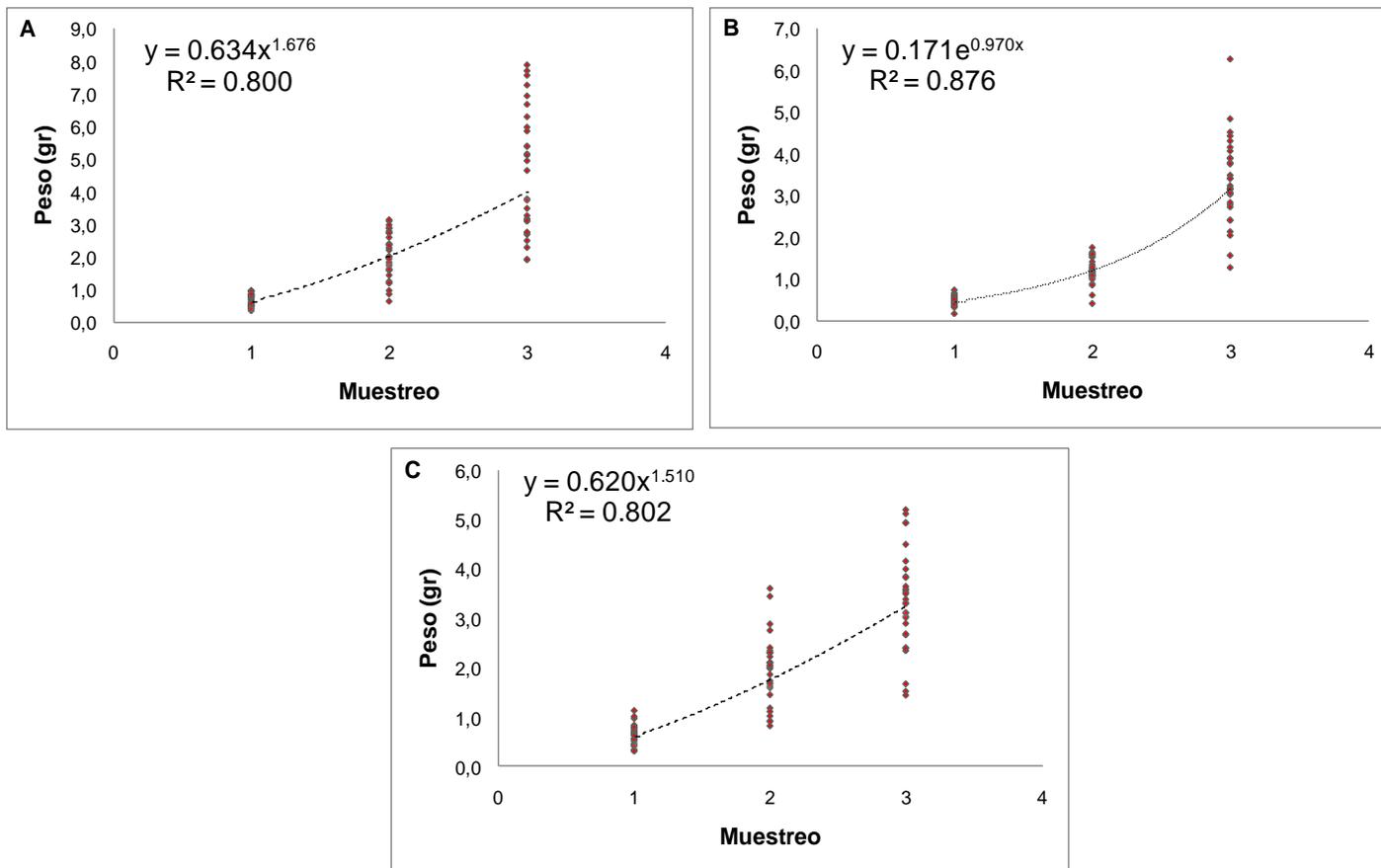


Figura 7. Modelos de crecimiento con mayor coeficiente de determinación (R^2) obtenidos para peso promedio en función del tiempo (muestreos). Modelos potenciales (grupos A y C) y exponencial (grupo B) (de arriba a abajo). Las letras mayúsculas (A, B y C) indican el grupo correspondiente.

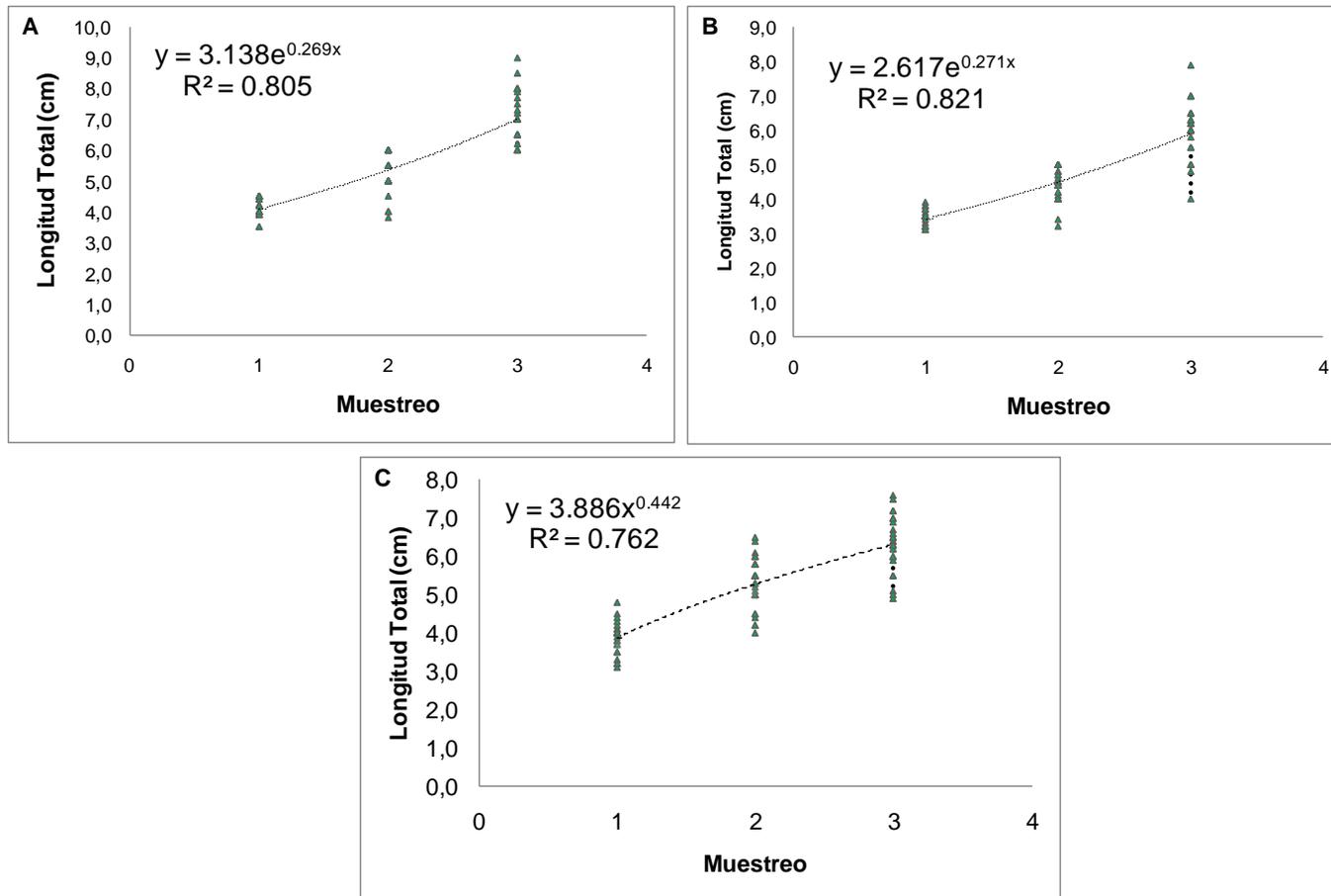


Figura 8. Modelos de crecimiento con mayor coeficiente de determinación (R^2) obtenidos para longitud total promedio en función del tiempo (muestreos). Modelos exponenciales (grupos A y B) y potencial (grupo C) (de arriba a abajo). Las letras mayúsculas (A, B y C) indican el grupo correspondiente.

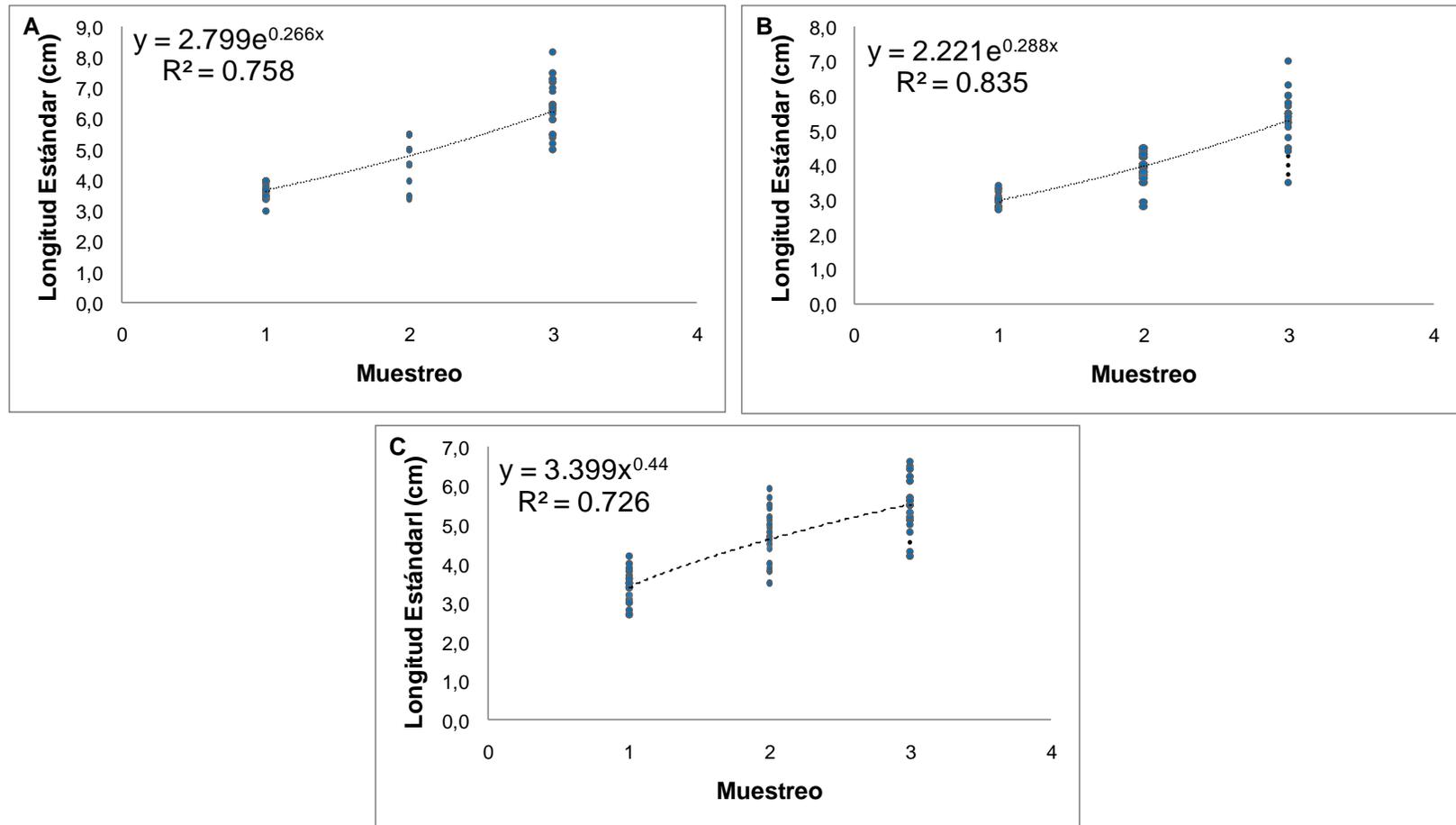


Figura 9. Modelos de crecimiento con mayor coeficiente de determinación (R²) obtenidos para longitud estándar promedio en función del tiempo (muestreos). Modelos exponenciales (grupos A y B) y potencial (grupo C) (de arriba a abajo). Las letras mayúsculas (A, B y C) indican el grupo correspondiente.

6.5. DATOS DE PRODUCCIÓN

Tabla 12. Biomasa total inicial, biomasa total final, ganancia en peso individual (GP), tasa de crecimiento específico (TCE), tasa de crecimiento absoluto (TCA), factor de condición inicial (Ki), factor de condición final (Kf), tasa de conversión alimenticia (FCA), y sobrevivencia expresada en porcentaje de los grupos y revaluados en el ensayo.

Grupo	Réplica	Biomasa total inicial (gr)	Biomasa total final (gr)	GP (indv) (gr)	TCE (% día)	TCA (gr/día)	Factor K(f)	Factor K(i)	FCA	% Sobrevivencia
A	A1	35.08	265.29	4.71	6.80	0.16	1.35	0.99	1.43	98
	A2	35.38	267.12	4.86	6.80	0.16	1.22	0.95	1.39	90
	A3	31.10	104.04	2.05	4.85	0.07	1.03	0.90	0.68	62
B	B1	25.57	147.69	2.77	6.19	0.09	1.50	1.20	1.32	96
	B2	24.46	154.18	3.01	6.56	0.02	1.57	1.19	1.59	88
	B3	21.00	117.14	2.83	6.82	0.09	1.54	1.00	1.37	90
C	C1	29.95	102.55	2.71	5.69	0.09	1.34	1.07	0.89	78
	C2	36.23	155.03	2.72	5.19	0.09	1.28	1.11	0.79	72
	C3	30.33	128.43	2.69	5.63	0.09	1.30	1.06	0.95	78

7. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 FISICOQUÍMICOS.

El registro de amonio disuelto total en el grupo B fue de 0.0 mg/L, mientras que en los grupos A y C, se presentaron valores entre 0 y 0.6 mg/L, datos que concuerdan con lo reportado por Masser *et al.*, (1999), quien describe que ocurre un aumento en los niveles de amonio durante el periodo de maduración del agua en un biofiltro. Por lo tanto, los niveles de amonio aumentan progresivamente debido a la actividad bacteriana durante las primeras semanas para luego estabilizarse al cabo de 15 a 20 días.

Stickney (2000), asegura que el rango presentado entre 0.0 y 0.6 mg/L no representan niveles letales dentro de los sistemas de recirculación. De otro lado Ebeling *et al.* (1995) argumenta que los valores obtenidos en los tres grupos representan el nitrógeno amoniacal total (NAT) y no simbolizan los valores netos del amonio en su forma toxica no ionizada (NH₃). Según Durborow (1997), el continuo recambio de agua contribuye a estabilizar los niveles de NAT, evitando estrés fisiológico por parte de los peces. A esto se le suma que los niveles de pH presentados en los tres ensayos permitieron que los valores de amonio no ionizado se mantuvieran por debajo de rangos nocivos para la especie (Ebeling *et al.*, 1995).

Los niveles de nitrito (NO₂) disuelto en los grupos A, B y C se encontraron alrededor de 0.1 mg/L. Estos valores según Blanco, (1995) son aceptables y se encuentran dentro del rango fisiológico adecuado para el cultivo de *O. mykiss*. Los valores de NO₂ se mantuvieron constantes lo que sugiere que el diseño, manejo y mantenimiento del biofiltro en parte contribuyeron a mantener niveles bajos de NO₂ dentro del SRA (Losordo *et al.*, 1992).

Otro aspecto que contribuyó al mantenimiento de los niveles de NO₂ fue la aplicación inicial durante la fase de maduración del biofiltro del complemento bacteriano (Nutrafin Cycle, Hagen; 10 ml /35 L) utilizado en el estudio. Según Masser *et al.*, (1999) la aplicación de complementos bacterianos ayuda a la rápida reactivación del biofiltro y contribuye al desarrollo de una población saludable de bacterias nitrificantes con la capacidad de remover el nitrito bajo tasas normales de alimentación.

La dureza general del agua se mantuvo por debajo de los 60 mg/L en cada uno de los grupos evaluados, lo que corresponde según Salazar (2001) a un tipo de agua blanda. Para el cultivo en sistemas de recirculación este valor se encuentra dentro del rango aceptable pero no óptimo para el cultivo de *O. mykiss*.

Según Masser *et al.*, (1999) para incrementar los niveles de dureza en el agua a niveles de alrededor 100 mg/L en el sistema de cultivo, es necesario utilizar carbonato de calcio o cloruro de calcio. Además valores de alcalinidad inferiores a 40 mg/l afectan los procesos de nitrificación independiente del pH del sistema (Lawson, 1995; citado en Al-Hafedh *et al.*, 2003).

Los datos de pH muestran valores que oscilan entre 5.3-7.8, 5-7.2 y 5.6-6.9 en los grupos A, B y C respectivamente. Al observar los datos se presenta que en cada una de las repeticiones de los tres grupos, una tendencia en la disminución del pH a través de los tres muestreos realizados. Esto se explica debido a la actividad vitrificante o de oxidación de los compuestos nitrogenados en forma de amonio a nitrito realizada por el biofiltro (Losordo *et al.*, 1992). Sin embargo, Chiodo, (1998) y Stevenson, (1999); aseguran que estos rangos son adecuados para el buen mantenimiento de poblaciones de *O. mykiss*.

La temperatura se mantuvo dentro del rango reportado para el mantenimiento de *O. mykiss* en cautiverio, es decir, entre 9 y 17°C, valores reportados en los estudios de Blanco, (1995) y Klontz, (1991).

7.2. CRECIMIENTO.

Los individuos de los grupos A, B y C, mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) a nivel de grupos (ver Anexo III), esto no se esperaba ya que todos los individuos fueron mantenidos bajo las mismas condiciones de densidad, agua, ración de alimento, y calidad del agua, se argumenta que esta diferencia fue probablemente ocasionada por la no adecuada separación de cabezas y colas durante la implantación de los individuos, es decir hubo fallo a nivel del diseño experimental (Merino, 2005). Otra posibilidad en menor medida que influyó en la diferencia del peso entre grupos fue la semilla de origen, según Blanco (1994, Smith *et al* (1988) citados por Bastardo & Sofía (2003) y Hepher (1993) el

crecimiento de truchas criadas bajo condiciones ambientales similares a menudo varia por factores tales como el tipo de alimento, frecuencia de alimentación, densidad de siembra, oxígeno disuelto y entre estos factores también está dada la línea de origen del pez. A nivel de muestreos las repeticiones de los grupos A (A1 y A2) obtuvieron incrementos totales finales promedio en peso mayores a 5 g (5.41 ± 1.61 g y 5.57 ± 1.61 g), es importante señalar que durante la ejecución del ensayo la réplica A3 presentó un cuadro infeccioso en los peces por parte del patógeno *Ichthyophthirius multifiliis* durante el segundo muestreo realizado esto pudo probablemente haber repercutido en el incremento de peso, longitud total y en los parámetros de producción. A estos organismos se les realizó un tratamiento con cloruro de sodio que consistió en baños diarios en una solución al 1 % de NaCl con agua madurada y aireación suplementaria por periodos de 30 minutos en un volumen de agua 10 L y luego eran devueltos al SRA (Floyd, 1995). El grupo B solo presentó diferencias significativas en aumento de peso al final del periodo de cultivo mostrando valores superiores a los 3 g; en el grupo C las réplicas C1 y C2 tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los muestreos y también mostraron un comportamiento de aumento en peso promedio final superior a 3 g (Tabla 7). Los organismos obtuvieron incrementos en peso mayores en comparación con otros estudios como en Ceballos & Velázquez (1988), donde organismos de *O. mykiss* sometidos a una densidad de siembra de 600 peces/m³ durante un periodo de 84 días y con un peso inicial de 0.3 g alcanzaron un peso final de 4.5 g en sistemas de cultivo en estanques de concreto; Gurzeda & Perdomo 1976, Rey 1977 citados por Zambrano (1991) reportan aumentos de peso finales de 2-3 g en un periodo de cultivo de 56 días en sistemas de cultivo en jaulas.

Cabe señalar que el periodo de cultivo que toman los individuos en los estudios anteriores es mayor al periodo de 30 días empleado en este experimento. Las curvas de crecimiento para el incremento en peso en los grupos A, B y C muestran un comportamiento de rápido incremento durante el periodo de cultivo,

los datos de los modelos para la variable peso con respecto al muestreo del grupo A muestran un coeficiente de determinación (R^2) de (0.64, 0.79 y 0.80) para los modelos lineales, exponencial y potencial respectivamente siendo los modelos exponencial y potencial los que obtienen mejor ajuste en comparación con el modelo lineal. Este comportamiento también se observó en los grupos B y C (0.74, 0.87, 0.85) y (0.71, 0.77, 0.80) correspondientemente. En comparación con una curva de crecimiento teórica para peso propuesta por Blanco, (1994) se afirma que en dos meses y medio los organismos alcanzan un peso promedio de 5 g, en el sistema en un periodo menor de mantenimiento (30 días) se obtuvieron curvas con pesos similares en las replicas del grupo A.

La longitud total mostró incrementos finales superiores a 5.95 cm en todas las replicas de los grupos evaluados. A nivel de muestreo todas las réplicas del grupo A mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) y obtuvo valores de longitud total mayores a 7 cm en las réplicas A1 y A2 (7.37 ± 0.56 cm y 7.69 ± 0.82 cm). En B y C todas las repeticiones mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) al final del periodo de cultivo a diferencia de la replica C3 (Tabla 8). Las curvas de crecimiento para la longitud total mostraron coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0.74 para cada uno de los modelos evaluados.

Al comparar organismos de la misma longitud, se aprecia que hay similitudes con respecto a su peso inicial como lo presentado por Vice-Ministerio de pesquería de Perú (2004) donde tallas de 4 cm corresponden a pesos de 0.72 g, estos datos concuerdan con registros observados en las réplicas A1, A2 y C2 (0.70 g - 1.14 cm, 0.71 g - 4.21 cm y 0.72 g - 4.03 cm). A medida que aumenta la talla se observa que si hay diferencia con respecto a la relación talla-peso, a una talla de 6 cm el peso correspondiente es de 2.5 g, en este estudio a longitudes de 6-7 cm las todas las replicas de los grupos A, B y C a excepción de la A3 obtuvieron valores en peso mayores a 3.28 ± 0.94 g. La réplica A3 no alcanzó valores mayores debido al cuadro infeccioso mencionado previamente. La longitud

estándar fue significativamente diferente a nivel de muestreos ($p < 0.05$) en replicas A1 y A2 del grupo A (6.73 ± 0.64 cm y 6.71 ± 0.74 cm) y en todas las réplicas del grupo C (5.4 ± 0.52 cm, 5.52 ± 0.65 cm y 5.18 ± 0.75 cm) hacia el final del periodo de mantenimiento.

Los correlaciones peso-longitud total arrojaron que existe una alta asociación entre estos dos parámetros para los tres grupos evaluados siendo superiores a 0.89.

7.3. PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN

Según los resultados obtenidos para el incremento en biomasa bruta, en los tres grupos realizados se obtuvieron incrementos por encima de los 100 g en un periodo de cultivo de 30 días calendario. El grupo A fue el que obtuvo los mayores incrementos de biomasa total final (265.29 g y 267.12 g en las replicas A1 y A2 respectivamente), siendo replica A3 la que obtuvo el menor incremento de biomasa total final, esto fue debido probablemente al estrés fisiológico producido por la infección de *I. multifiliis* a la mitad del periodo de cultivo (Durborow, *et al.*, 1998). Los grupos B y C, obtuvieron incrementos menores debido a los porcentajes de supervivencia presentados lo que disminuyo el aporte de biomasa en cada una de las repeticiones realizadas. Según Merino (2005) las biomazas máximas aconsejadas son de alrededor de 7-8 Kg/m³ las cuales son densidades altas en comparación la densidad mayor obtenida en este experimento (0.26 Kg/0.75 m³ o 50 peces/0.75 m³) para la réplica A1 del grupo A, inclusive es menor en comparación con sistemas de cultivo tradicionales: 9.67 Kg/m³ y 1000 peces/m³ (Amézquita 1982, Gurzeda & Perdomo 1976 citados por Zambrano, 1991) en sistemas de jaula respectivamente; 600 peces/m³ (Amaya 1988, citado por Zambrano, 1991), 2.8 Kg/m² (Rosado & Erazo, 2001) para estanques y 15-30 Kg/m³ (Cold, 1991) para sistemas en canales.

Si tenemos en cuenta los valores mantenidos en los sistemas utilizados se podría aumentar en un factor de dos la densidad de organismos para el mismo volumen de agua implementado lo cual permitiría virtualmente mantener individuos de *O. mykiss* hasta el estadio de dedino disminuyendo el costo de producción en términos de implementación de tanques, bombas y energía eléctrica. En sistemas de cultivo en canales en Colombia el flujo de agua generalmente utilizado para levante de alevines es de entre 5-70 L/min (Merino, 2005), 65.32 L/min (López *et al.*, 2007) es decir que un periodo de 30 días y con un flujo constante de entrada y de salida de solo 5 L/min el sistema de canales usualmente utiliza un volumen de 216000 L/mes de agua aproximadamente, lo cual es un valor mucho mayor comparado a los 1500 L/mes utilizados por sistema en este estudio incluyendo los 4 recambios semanales realizados del 25% del agua. Estos registros se hallan dentro de los caudales mantenidos en otros sistemas de recirculación con agua como los utilizados por Szyper *et al.*, (2005) en donde se mantienen caudales de 3-9 L/min y se manejan volúmenes de 8000 L/mes o como los mantenidos en Al-Hafedh *et al.*, (2003) donde se utilizó un flujo de 40 L/min y un volumen total de 18000 L/mes.

Según FAO, (2009) el inadecuado uso de los recursos hídricos de los ecosistemas de agua dulce como lo son el drenaje, el relleno y la extracción de agua para actividades agropecuarias e industriales está contribuyendo a la fragmentación y pérdida de los hábitats acuáticos, además de contribuir con la desaparición de la diversidad ecológica y al cambio en la composición de especies. Otro proceso de problemática ambiental es la eutrofización originada en los sistemas de producción acuícola convencional, esta es producida por varios factores entre los que figuran las grandes cantidades de alimento introducidas, las bajas tasas de asimilación de alimento y a los inadecuados tratamientos de los efluentes esto genera problemas de productividad, calidad de agua y enfermedades (Vásquez, 2007).

Con referencia a la ganancia en peso de los tres grupos bajo estudio el grupo A fue el que obtuvo la mayor ganancia de peso promedio individual en dos de sus replicas (4.71 g y 4.85 g) mientras que en los ensayos B y C ninguna replica mostró ganancia mayor a 4 g. Los incrementos son menores en comparación a otros trabajos (13.57-31.43 g) en Avalos *et al.*, (2002), sin embargo estos incrementos corresponden a individuos con un peso inicial superior a 2 g y fueron mantenidos por un periodo no inferior a 76 días, por lo cual tuvieron la capacidad de adquirir mayores ganancias promedio individuales en peso.

Con respecto a la TCE, los valores expresados en porcentaje/día son mayores a 5 en todos los grupos (A, B y C) respectivamente a diferencia de la replica A3 la cual obtuvo el valor más bajo (4.85 %/día). Los valores de TCE presentados son superiores a valores obtenidos por otros autores en sistemas de jaula y de canales 3.35% (Morales, 2004), 1.76% (Alvarado, 1999), 1.70% (Bastardo & Sofía, 2003) correspondientes a estadios de desarrollo posteriores (juveniles), además los valores presentados durante el estudio son mayores inclusive en comparación con individuos del mismo estadio de desarrollo (5.1%/día claves A y L) en Ceballos & Velázquez, (1988). El estadio de desarrollo y el peso inicial de los individuos probablemente contribuyeron a la obtención de tasas de crecimiento específicas elevadas, conjuntamente con los rangos de temperatura (ver Figura.11) mantenidos en el sistema de recirculación con agua evaluado en el ensayo (Merino, 2005; Blanco, 1994).

La tasa de crecimiento acumulada observada en los grupos A, B y C fue superior a 0.7 gr/día, a excepción de las replica B2, la cual obtuvo la menor TCA (0.02 g/día). Estos valores son inferiores a otros obtenidos por otros autores 2.15; 1.84 (Vergara *et al.*, 1998). Esto es explicado en parte al estadio de desarrollo (juveniles con peso inicial de 53.0 g) en el que se encontraban los individuos de esos ensayos.

El factor de condición inicial (K_i) presentó valores en un rango de 0.9-1.20 (replicas A3 y A1 respectivamente), siendo la replica B1 la que obtuvo el mejor factor de condición inicial (1.20). Estos valores son similares a otros valores obtenidos en otros sistemas tales como cultivos en jaulas flotantes (0.95-1.07) (Morales & Quirós, 2007). El factor de condición final (K_f) aumentó en todas las réplicas de los grupos A, B y C siendo las replicas del grupo B las que obtuvieron mayores incrementos (1.50, 1.57 y 1.54) para B1, B2 y B3 correspondientemente. Estos resultados son mayores a los obtenidos en sistemas de jaulas y de cubetas 1.08, (Alvarado, 1998), 1.34 (Morales & Quirós, 2007) y 1.1 (Bastardo & Sofía, 2003). Según Cain & Garling (1993), los valores obtenidos en este experimento representan peces que están siendo apropiadamente alimentados y que están convirtiendo adecuadamente el alimento consumido en biomasa bruta.

Con respecto a las FCA de los grupos evaluados, A y B presentaron factores de conversión mayores a 1 a excepción de la réplica A3 la cual obtuvo un valor de 0.68. El grupo C fue el que obtuvo mejores conversiones con valores inferiores a 1 en todas sus replicas (0.89, 0.79 y 0.95). Estos resultados son menores a otros registros observados en cultivo en canales 1.5 (Ceballos & Velázquez, 1988), 1.04 (Avalos *et al.*, 2002) y 1.22 (Wagner & Thomas, 1994).

La sobrevivencia en los grupos A, B y C fue mayor al 72% a excepción de la replica A3 la cual registró un valor inferior al 62 %, debido a la mortalidad inducida por *I. multifiliis*. La sobrevivencia es inferior a otros estudios (97.17%), a una densidad inicial de 50 peces/m³ (Alvarado, 1999), 85% en Ceballos & Velázquez, (1988) en sistemas de cubetas de concreto a una densidad de 12.152 peces/m³ y con un volumen total de 7.2 m³, sin embargo la sobrevivencia no fue dependiente de factores patológicos, calidad del agua ni del alimento suministrado en todas las demás repeticiones, sino fue debido a factores de diseño del sistema ya que el diámetro del poro de la polisombra empleada no retuvo escapes de individuos, lo

que disminuyó la sobrevivencia al final del periodo de mantenimiento de los organismos.

8. CONCLUSIONES

- El sistema de recirculación con agua (SRA) no presentó fallas en su desempeño a nivel de sostenimiento constante del flujo de agua, del volumen total del sistema, funcionamiento del biofiltro y remoción de materiales suspendidos en el agua (MES) además reduce el consumo de agua en un factor de 144 en comparación con sistemas del cultivo para la etapa de alevinaje en canales.
- La calidad del agua que se observó en el SRA a nivel de concentración de amonio total, nitrito, dureza general, pH y temperatura permitió el mantenimiento de los individuos bajo cultivo.
- Los organismos obtuvieron incrementos en peso superiores a un 46% con respecto a sistemas de cultivo tradicional en periodos de cultivo menores.
- Las tasas de crecimiento específico (TCE) fueron mayores en comparación con sistemas de cultivo en tanques de concreto alcanzando valores de hasta 6.8%/día. Los factores de condición final (Kf) fueron similares con los que se deben mantener en sistemas de cultivo semi-intensivo tradicional.

9. RECOMENDACIONES

El sistema de recirculación SRA funcionó adecuadamente en términos de que mantuvo un adecuado flujo de agua al tanque para peces, proporcionó una aireación adecuada por medio de gravedad, debido a su disposición espacial y el diseño facilitó las tareas de manejo (alimentación, toma de muestras y seguimiento de los individuos) y de mantenimiento (limpieza, desinfección, retiro de materiales orgánicos del fondo). Sin embargo, el biofiltro podría ser mejorado en términos de diseño con el fin de optimizar la reducción del amonio y la oxidación del nitrito a nitrato disuelto en el agua, esto se podría conseguir colocando una material con mayor área relativa en comparación con su volumen para promover el asentamiento de bacterias nitrificantes. Como sustrato podría usarse una capa con gránulos de espuma de un diámetro inferior como material complementario a la grava utilizada en el estudio. Además puede incluirse en el diseño una cámara de sedimentación para promover la remoción de residuos en suspensión esta podría estar ubicada dentro del biofiltro. Otra variación al diseño del sistema podría incluir una tapa plástica que elimine de manera permanente la posibilidad de escapes de individuos del sistema ya que la malla utilizada a pesar de cubrir el tanque por completo permitió que la sobrevivencia fuera afectada.

Con referencia al crecimiento, las diferencias que se presentaron entre grupos con respecto al peso promedio, longitud total promedio y longitud estándar promedio se podrían evitar mediante la obtención de un lote de peces con una misma línea genética. Para disminuir la variabilidad que se podría presentar en futuros estudios a los peces se les debe realizar una adecuada separación de cabezas y colas; es decir tomar mediciones de toda la población y en lo posible arrancar todas las replicas en un mismo periodo de cultivo.

Una práctica que podría significativamente aumentar los valores de peso promedio para el mismo periodo de cultivo es el racionamiento del alimento suministrado, se podría conservar el 10% de alimento como porcentaje de peso húmedo promedio individual por el numero de peces, pero se podría dividir esa ración en 8 porciones iguales así el alimento podría ser adecuadamente aprovechado por los individuos, lo que permitiría obtener mejores factores de conversión y tasas de crecimiento específico mayores.

Por último en futuros estudios se podría aumentar la densidad de cultivo por m³ para estimar primero si hay dependencia de densidad con respecto al crecimiento y segundo cual nivel de densidad es el más adecuado para la obtención de producciones similares o inclusive superiores en comparación con sistemas de cultivo tradicional.

10. BIBLIOGRAFÍA

ALDANA, A. M.; MORA, J. C.; RODRÍGUEZ, H.; BERNARDI, P.; NIETO, S. M.; BELALCÁZAR, P. A.; ORTIZ, R. E.; ARCINIEGA, E.; ENRÍQUEZ M. S.; SIZA, O. J. 2007. Pesca y acuicultura Colombia. Corporación Colombiana Internacional, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia.1-154.

AL-HAFEDH, Y.; ALAM, A.; ALAM, M. 2003. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Natural Resources and Environment Research Institute, King Abdulaziz City for Science and Technology. Aquacultural Engineering 29: 139-154.

ALVARADO, H. 1998. Efecto de diferentes concentraciones de calcio sobre el desarrollo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en condiciones de cultivo.

FONAIAP- BRAMÓN. Estado Táchira, Venezuela. *Zootecnia Tropical* 16 (1): 99 - 111.

ALVARADO, H. 1999. Crecimiento y sobrevivencia de la trucha arco iris cultivada en diferentes tipos de estanques y densidades. Centro de Investigaciones del Estado del Táchira, Venezuela. 24(2): 121-129.

ARCE, E. U & FIGUEROA, J. L. 2003. Efecto de dietas con diferente contenido proteico en las tasas de crecimiento del bagre de las balsas *Ictalurus balsanus* (pisces: ictaluridae) en condiciones de cautiverio. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México. *Revista Aquatic* (18). 39 - 47.

AVALOS, P.; REGALADO, F.; RUBÍN, V. 2002. Evaluación de una tabla de alimentación para truchas arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) mediante tasas de racionamiento. Primer Congreso Nacional de Acuicultura. 1-9.

BADELL J. G. 1985. Tecnología de las explotaciones piscícolas. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 1 - 288.

BASTARDO, H. & B, SOFÍA. 2003. Crecimiento de truchas todas hembras y de ambos sexos en un criadero venezolano. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro Investigaciones Agrícolas del estado Mérida, Campo Experimental Truchícola La Mucuy. Mérida, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 21(1):17-26.

BLANCO, M. C. 1994. La trucha. Cría industrial. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid, España. 1-488.

BOYD, E. C. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Birmingham, Alabama United States of America. 5-146.

BROMAGE, N. R. & SHEPHERD. C. J. 1999. Piscicultura intensiva. Acribia.18-285.

CAIN, K &. GARLING, D. 1993. Trout culture in the North Central Region. Department of Fisheries and Wildlife, Michigan State University, East Lansing, MI 108: 1-8.

CALDWELL, J. 1998. Why use aquaculture as an educational tool? The Conservation Fund's Freshwater Institute 3: 1-12.

CAMACHO, E.; MORENO, M. A.; RODRÍGUEZ, M.; LUNA, C.; VÁZQUEZ M. 2000. Guía para el cultivo de trucha. Impresora Marte. México. 1-137.

CARDENAS, M. L. 2004. Características ecológicas y ambientales del cultivo de trucha en tanques con recirculación. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 1-79.

CASTRO, A. M. 1994. Algunos aspectos bioecológicos de la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* en el embalse pantano redondo Cundinamarca – Colombia. Universidad Nacional de Colombia; Facultad De Ciencias Departamento de Biología. 1 - 63.

CEBALLOS, M. & VELAZQUEZ, M. 1988. Perfiles de la alimentación de peces y crustáceos en los centros y unidades de producción acuícola en México. Secretaría de pesca Dirección General de Acuicultura. FAO. Pachuca, Hidalgo. México. 1 -10.

CHIODO, L. M. 1998. Cultivo de truchas en lagunas. Ediciones Calipso. Argentina.

DUNNING, M. LOSORDO, M & HOBBS, A. 1998. The economics of recirculating tank systems: a spreadsheet for individual analysis. Recirculación. Southern Regional Aquaculture Center 456: 1-10.

DURBOROW, R. M.; CROSBY, D. M.; BRUNSON, M. W. 1997. AMMONIA IN FISH PONDS. Southern Regional Aquaculture Center, United States Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education, and Extension Service 463: 1-2.

DURBOROW, R.; MITCHELL, A.; & CROSBY, M. 1998. Ich (White Spot Disease). Southern Regional Aquaculture Center. Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education, and Extension Service 476: 1-6.

EBELING, J.; JENSEN, G.; LOSORDO, T.; MASSER, M.; MCMULLEN, J.; PFEIFFER, L; RAKOCY, J.; SETTE, M. 1995. Model aquaculture recirculation system (MARS). Department of Agricultural Education and Studies Iowa State University. 1-14.

ESPINAL, C.; MARTINEZ, H.; GONZÁLEZ, F. 2005. La cadena de la piscicultura en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agrocadenas Colombia. 1- 44.

FLOYD, R. F. 1992. Dissolved oxygen for fish production. Department of Fisheries and Aquatic Sciences, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural sciences, University of Florida 27: 1-3.

FLOYD, R. F. 1995. The use of salt in aquaculture. Department of Large Animal Clinical Sciences, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural sciences, University of Florida 86: 1-3.

GARAVITO, A. J. 2000. Trucha arcoíris: Condiciones para su cultivo. Táchira, Venezuela.

GILL, O. & SAL, F. M. 2007. Sistemas de Recirculación y Tratamiento de agua. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos CENADAC (Santa Ana-Corrientes). 1-37.

HEPHER, B. 1993. Nutrición de peces comerciales en estanques. Editorial Limusa. Lima, Perú.

HINSHAW, J. M. 1999. Trout production. Feeds and feeding methods. United States Department of Agriculture, Cooperative State Research Service and the Extension Service 223: 1-2.

INSTITUTO NACIONAL DE LA PESCA. 1995. Cultivo experimental de trucha arcoíris en jaulas en la presa pucato mupio. De hidalgo, Michoacan.

KIDD, M. 2001. When considering a recirculating aquaculture venture, prudence. PaysVirginia Cooperative Extension., 600-204 (VCE): 1-2.

KLONTZ, W. G. (1991). Producción de trucha arcoíris en granjas familiares. Idaho, USA.

LAZUR, A. M. & BRITT, D. C. 1997. Pond recirculating production systems. Southern Regional Aquaculture Center 455: 1-8.

LEHNINGER, N. D. 2000. Principles of Biochemistry. Worth Publishers. New York.

LÓPEZ, F.; LÓPEZ, M.; REYES, J. 2007. Viabilidad de una truchifactoría como alternativa de producción sostenible en la zona del Páramo de Letras, Caldas y Tolima, Colombia. *vet. zootec*, 1 (2): 30-42.

LOSORDO, T. M.; MASSER, P. M.; RAKOCY, J. E. 1992. An overview of critical considerations. Recirculating aquaculture tank production systems. Southern Regional Aquaculture Center 451: 1-7.

LOSORDO, T. M.; MASSER, P. M.; RAKOCY, J. E. 1999. Recirculating aquaculture tank production systems. A review of component options. Southern Regional Aquaculture Center 453: 1-12.

MASSER, M. P.; RAKOCY, J. T. M. LOSORDO. 1999. Recirculating aquaculture tank. Production systems. Management of recirculating systems. Southern Regional Aquaculture Center 452: 1-12.

McGEE, M. & CICHRA, C . 2000. Principles of water recirculation and filtration in aquaculture. Department of Fisheries and Aquatic Sciences, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences 12: 1-4.

MERCADO, I. B.; GARCÍA, J. L.; CÁRCAMO, R. R.; OLAYA, C. W.; SEGURA, F.G.; BRÚ, S. C.; TORDECILLA, G. P. 2006. Cultivo de dorada (*Brycon sinuensis* Dahl, 1955) en jaulas flotantes a diferentes niveles de proteína. . *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 19 (2): 204-211.

MERINO, M. 2005. El cultivo de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Instituto Colombiano de Desarrollo Rural, INCODER. 1-6.

MORALES, G. 2004. Crecimiento y eficiencia alimentaria de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas bajo diferentes regímenes de alimentación. Área de Sistemas de producción Acuática, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos aires, Argentina. 1- 51.

MORALES, G & QUIRÓS, R. 2007. Desempeño productivo de la trucha arco iris en jaulas bajo diferentes estrategias de alimentación. Asociación Latinoamericana de Producción Animal 15, (4): 119-127.

PINEDA, R. 1999. Elaboración y evaluación de dietas a partir de harinas de barrilete (*Euthynnus linneatus*) y rasposa (*Haemulon maculiconda*) como alimento de bagre (*Ictalurus punctatus*) en condiciones de laboratorio. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima, México. 1 - 61.

PARKER, R. 2002. Acuaculture science. United States of America. 7- 65.

RAKOCY, J. E.; LOSORDO, T. M.; MASSER, M. P. 1992. Recirculating aquaculture tank production systems. Integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center 454: 1-7.

RODRIGUEZ, H. G & ANZOLA, E. E. 2001. Calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura. En: E. ANZOLA. M. AVILES. C. E. BELTRAN. C. BURBANO. M. CARRILLO. F. J. DIAZ. M. P. DORADO. A. ERAZO. C. ESPEJO. F. GALLEGU. E. GONZALEZ. R. GONZALEZ. M. A. LANDINEZ. L. MARTINEZ. M. C. MERINO. H. O. MOJICA. G. POLO. H. RODRIGUEZ. J. A. RODRIGUEZ. R. ROSADO. M. TORRES. E. TORRES. C. USECHE. W. VAZQUEZ. C. VASQUEZ.

A. VILLANEDA. M. VILLANUEVA, Fundamentos de acuicultura continental, 43-73. Grafimpresos Quintero, Bogotá, Colombia.

ROLDAN, L. D.; SALAZAR, M.; TEJADA, M. 2001. caracterización de la cadena de piscicultura en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 1-13.

ROSADO, R & ERAZO, A. 2001. Aspectos básicos para el cultivo de la trucha arcoiris. En: ANZOLA. M. AVILES. C. E. BELTRAN. C. BURBANO. M. CARRILLO. F. J. DIAZ. M. P. DORADO. A. ERAZO. C. ESPEJO. F. GALLEGU. E. GONZALEZ. R. GONZALEZ. M. A. LANDINEZ. L. MARTINEZ. M. C. MERINO. H. O. MOJICA. G. POLO. H. RODRIGUEZ. J. A. RODRIGUEZ. R. ROSADO. M. TORRES. E. TORRES. C. USECHE. W. VAZQUEZ. C. VASQUEZ. A. VILLANEDA. M. VILLANUEVA, Fundamentos de acuicultura continental, 301-328. Grafimpresos Quintero, Bogotá, Colombia

SAGA, A. & C. ROMÁN. 1995. Piscicultura: sus bases, métodos y Aplicaciones. Valencia, España.

SALAZAR, G. A. 1999. Situación de la acuicultura rural de pequeña escala en Colombia, importancia, perspectivas y estrategias para su desarrollo. División de Acuicultura Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA). Colombia. 1- 26.

SALAZAR, G. A. 2001. Consideraciones generales sobre acuicultura. En: E. ANZOLA. M. AVILES. C. E. BELTRAN. C. BURBANO. M. CARRILLO. F. J. DIAZ. M. P. DORADO. A. ERAZO. C. ESPEJO. F. GALLEGU. E. GONZALEZ. R. GONZALEZ. M. A. LANDINEZ. L. MARTINEZ. M. C. MERINO. H. O. MOJICA. G. POLO. H. RODRIGUEZ. J. A. RODRIGUEZ. R. ROSADO. M. TORRES. E. TORRES. C. USECHE. W. VAZQUEZ. C. VASQUEZ. A. VILLANEDA. M. VILLANUEVA, Fundamentos de acuicultura continental, 1-10. Grafimpresos Quintero, Bogotá, Colombia.

SALAZAR, G. A. 2002. El cultivo de organismos acuáticos en pequeña escala en Colombia. Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA). Bogotá, D.C. 1- 31.

SEDGWICK, S. D. 1988. Cría de la trucha. Acribia. Zaragoza. España. 34-86

SHELTON, J. L. 1994. Trout production. Cooperative Extension Service, The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences. 1- 15.

STEVENSON, J.P. 1999. Trout Farming Manual. Fishing News (book) Ltd., Surrey England. E P, 1- 203.

STICKNEY, R.R. 2000. Enciclopedia of Aquaculture. John Wiley and Sons, Inc. Texas, State United of America.

SWANN, L. 1992. A basic overview of aquaculture. United States Department of Agriculture Grant. 102: 1-11.

SZYPER, J.; TAMARU, C.; AKO, H.; HOPKINS, K.; HOWERTON, R. 2005. Low-Cost Biofiltration Systems. Sea Grant. University of Hawaii. Aquaculture Extension Bulletin. 1-11.

TIMMONS, M. B.; YOUNG, W. D.; BOWSER, P. R & RUMSEY, G. 1995. Desing Principles of Water Reuse Systems for Salmonids. Departament of Agricultural And Biological Engineering. Ithaca, New York 462: 1- 29.

USTATE, E. Z. 2002. Diagnóstico de la cadena productiva pesquera en la república de Colombia. Estudio de prospectiva para la cadena productiva de la

industria pesquera en la región de la costa del Pacífico en América del Sur. Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Colombia. 1-29.

VÁSQUEZ, W. T. 2007. Las dietas como factor de impacto sobre la calidad del agua en sistemas de cultivo intensivo de peces. Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola II (2):1-12.

VERGARA, V.; H. BAZAN, H.; M. LOOK, M. 1998. Evaluación comparativa de dos dietas balanceadas elaboradas mediante los procesos extruido - peletizado y peletizado en el crecimiento de juveniles de trucha arco iris. Aspectos aplicados sobre alimentación de truchas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos. 1 -14.

VICEMINISTERIO DE PESQUERÍA. 2004. Piscicultura de la trucha. Dirección Nacional de Acuicultura. Lima, Perú. 1-17.

WAGANER, E. & BOSAKOWSKY, T. 1994. Performance and Behavior of Rainbow Trout in Covered Raceways. Fisheries. Experiment Station, Utah Division of Wildlife Resources. The Progressive Fish-Culturist 56: 123-129.

YANONG, R. P. 2003. Fish health management considerations in recirculating aquaculture systems- part 3: general recommendations and problem-solving approaches. Department of Fisheries and Aquatic Sciences, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences 122: 1-9.

_____. Fish health management considerations in recirculating aquaculture systems- part 2: pathogens. Department of Fisheries and Aquatic Sciences, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida 121: 1-9.

Zambrano, L. H. 1991. Crecimiento de juveniles de Trucha *Oncorhynchus mykiss*, sometidos a diferentes densidades de siembra y cultivados en jaulas flotantes, Lago de Tota, Boyacá

ZAPATA, D; GIL, J; ESPEJO, C. 2008. Prueba de crecimiento en tilapia roja (*Oreochromis sp*) con niveles crecientes de inclusión de harina de yuca en la dieta. Boletín Electrónico del Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al desarrollo de la Yuca, Clayuca. 1- 7.

10.1. REFERENCIAS WEB

FAO. 2009. <http://www.fao.org/fishery/topic/3541/en> Accedida el 21 de junio de 2009.

GALLEGO, I. A.; GARCÍA, D. P.; DÍAZ, C.; FALL, C. 2003. Sistema de recirculación de agua para cría de alevín de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) y carpa común (*Cyprinus carpio*). Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua (RIPDA-CYTED) y Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (CIRA-UAEM). [<http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/index.html>].

IT'SNATURE. 2009. <http://www.itsnature.org/sea/fish/rainbow-trout-oncorhynchus-mykiss/> Accedida el 30 de junio de 2009.

UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA. 2009. <http://ucanr.org/repository/view.cfm?article=55698> Accedida el 30 de junio de 2009.

11. ANEXOS

11.1. ANEXO I

Tabla 13. Número de individuos por réplica registrados durante el periodo de mantenimiento de los individuos. El muestreo 1 indica la densidad inicial.

Grupo	Réplica	Muestreo		
		1	2	3
A	A1	50	50	49
	A2	50	45	45
	A3	50	47	31
B	B1	50	50	48
	B2	50	49	44
	B3	50	45	45
C	C1	50	42	39
	C2	50	38	36
	C3	50	42	39

11.2. ANEXO II

Tabla 14. Ración de alimento en gramos (g) suministrada por quincena (1 y 2) por grupo y por réplica durante el periodo de mantenimiento de los individuos.

Grupo	Réplica	Alimento suministrado (g)	
		1	2
A	A1	8,42	24,62
	A2	8,49	26,41
	A3	7,46	22,42
B	B1	6,14	14,82
	B2	5,87	13,06
	B3	5,04	15,71
C	C1	7,19	23,33
	C2	8,70	25,68
	C3	7,28	21,14

11.3. ANEXO III

Tabla 15. Prueba de ANOVA para el peso (Peso) entre grupos, replicas y muestreos.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Grupo	2	25.28	12.64	22,099	1.521e-09 ***
Réplica	6	23.17	3.86	6,7529	1.242e-06 ***
Muestreo	18	507.00	28,17	49,251	< 2.2e-16 ***
Residuals	243	138.97	0,57		

11.4. ANEXO IV

Tabla 16. Prueba de Comparación múltiple de medias (Tukey) para peso a nivel de grupos entre A, B y C.

Grupo	diff	lwr	upr	p adj
B-A	-0.7452222	-1,01106784	-0.4793766	0.0000000
C-A	-0.4416667	-0.70751228	-0.1758211	0.0003411
C-B	0.3035556	0.03770994	0.5694012	0.0206418

11.5. ANEXO V

Tabla 17. Prueba de ANOVA para el peso longitud total (LT) entre grupos, réplicas y muestreos.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Grupo	2	36.9	18.45	57.534	< 2.2e-16 ***
Réplica	6	6.32	1.05	3.285	0.003984 **
Muestreo	18	330.91	18.38	57.331	< 2.2e-16 ***
Residuals	243	77.92	0.32		

11.6. ANEXO VI

Tabla 18. Prueba de comparación múltiple de medias (Tukey) para longitud total (LT) a nivel de grupos entre A, B y C.

Grupo	diff	lwr	upr	p adj
B-A	-0.8977778	-1,096839	-0.6987166	0.0000000
C-A	-0.3466667	-0.5457279	-0.1476054	0.0001618
C-B	0.5511111	0.3520499	0.7501723	0.0000000

11.7. ANEXO VII

Tabla 19. Prueba de ANOVA para el peso longitud total (LS) entre Grupos, réplicas y muestreos.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Grupo	2	31.240	15.620	55.085	<2.2e-16***
Réplica	6	6.702	1.117	3.939	0.0008884***
Muestreo	18	263.826	14.657	51.688	<2.2e-16***
Residuals	243	68.906	0.284		

11.8. ANEXO VIII

Tabla 20. Prueba de Comparación múltiple de medias (Tukey) para longitud estándar a nivel de grupos entre A, B y C.

Grupo	diff	lwr	upr	p adj
B-A	-0.8322222	-1,0194169	-0.6450275	0.0e+00
C-A	-0.3811111	-0.5683058	-0.1939164	8.2e-06
C-B	0.4511111	0.2639164	0.6383058	1.0e-07

11.9. ANEXO IX

Planilla utilizada para el registro del peso, longitud total, longitud estándar y número de individuos observados.

CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA EN EL LEVANTE DE ALEVINOS DE TRUCHA ARCOIRIS (*Oncorhynchus mykiss*) EN SISTEMAS CERRADOS DE RECIRCULACIÓN DE AGUA

Planilla No____

Fecha_____

Lugar_____

Responsables: _____

Nombre especie: _____

Director: _____

Grupo: _____

Réplica: _____

Número de individuos observados) por réplica: _____

Nº individuo	Peso(g)	Longitud Total (cm)	Longitud Estándar (cm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

11.10. ANEXO X

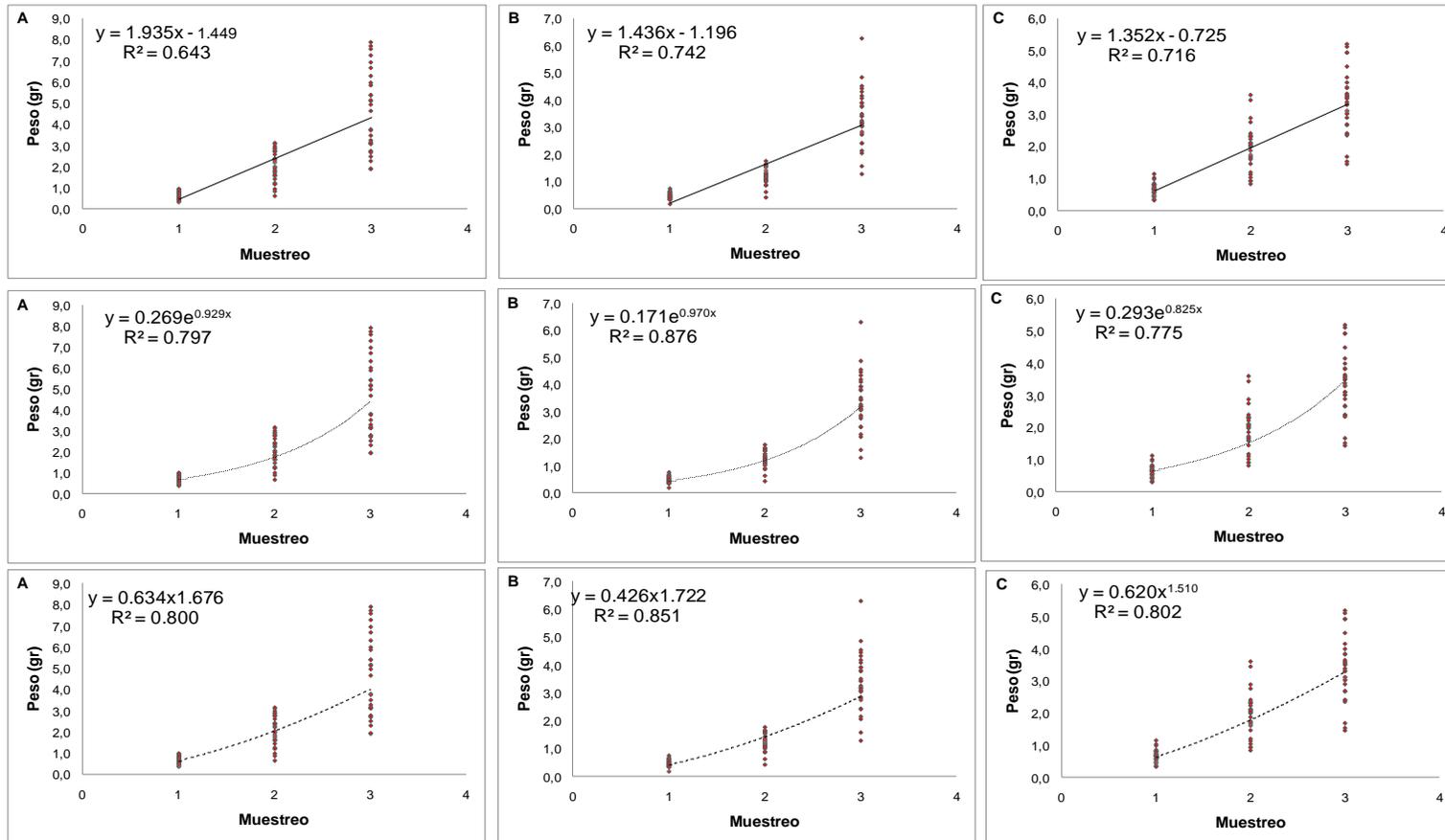


Figura 10. Modelos de crecimiento lineal, exponencial y potencial (de arriba abajo) evaluados para peso en función del tiempo (muestreo) con su ecuación y coeficiente de determinación (R^2). Las letras mayúsculas (A, B y C) indican el grupo correspondiente.

11.11. ANEXO XI

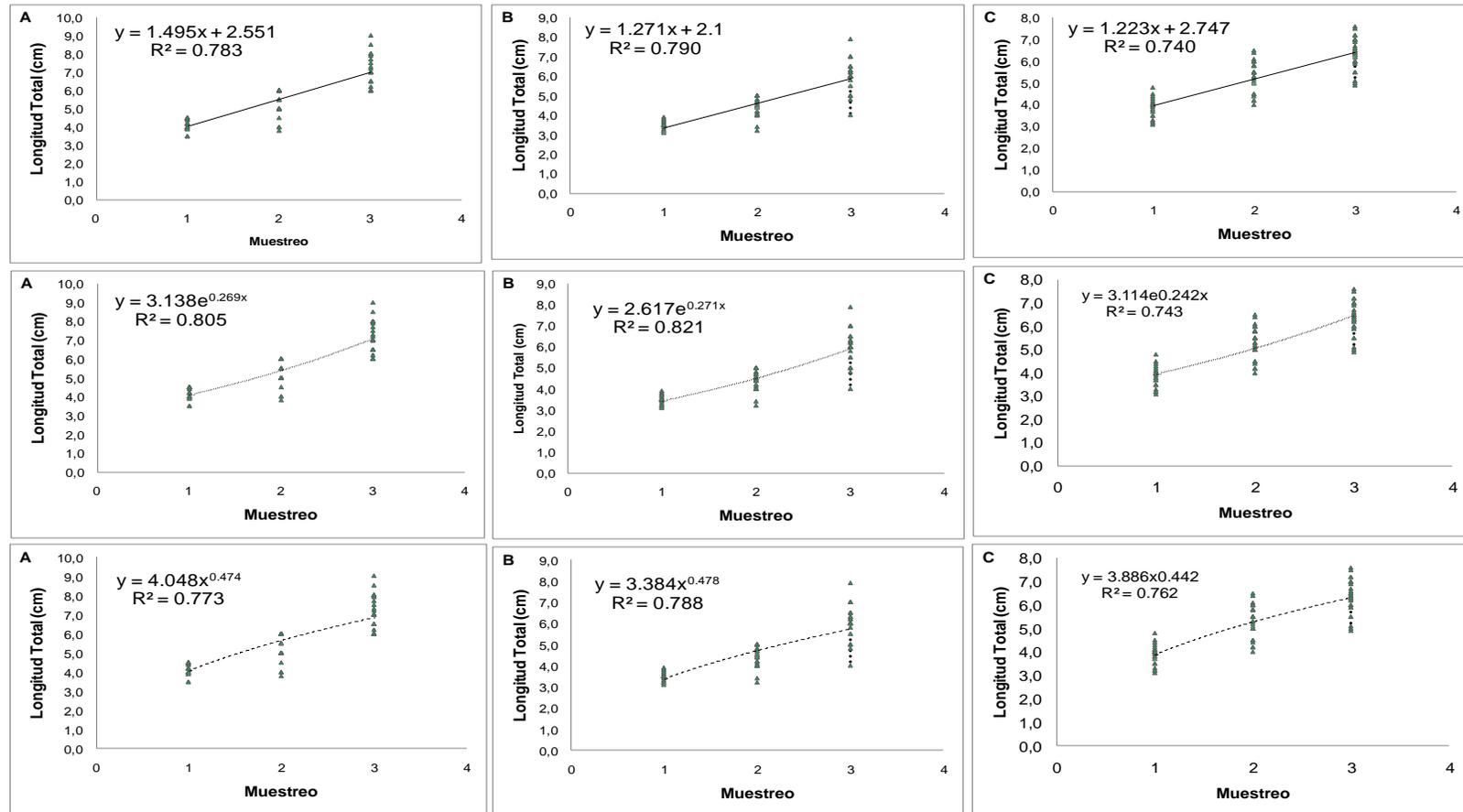


Figura 11. Modelos de crecimiento lineal, exponencial y potencial (de arriba abajo) evaluados para longitud total en función del tiempo (muestreo) con su ecuación y coeficiente de determinación (R^2). Las letras mayúsculas (A, B y C) indican el grupo correspondiente.

11.12. ANEXO XII

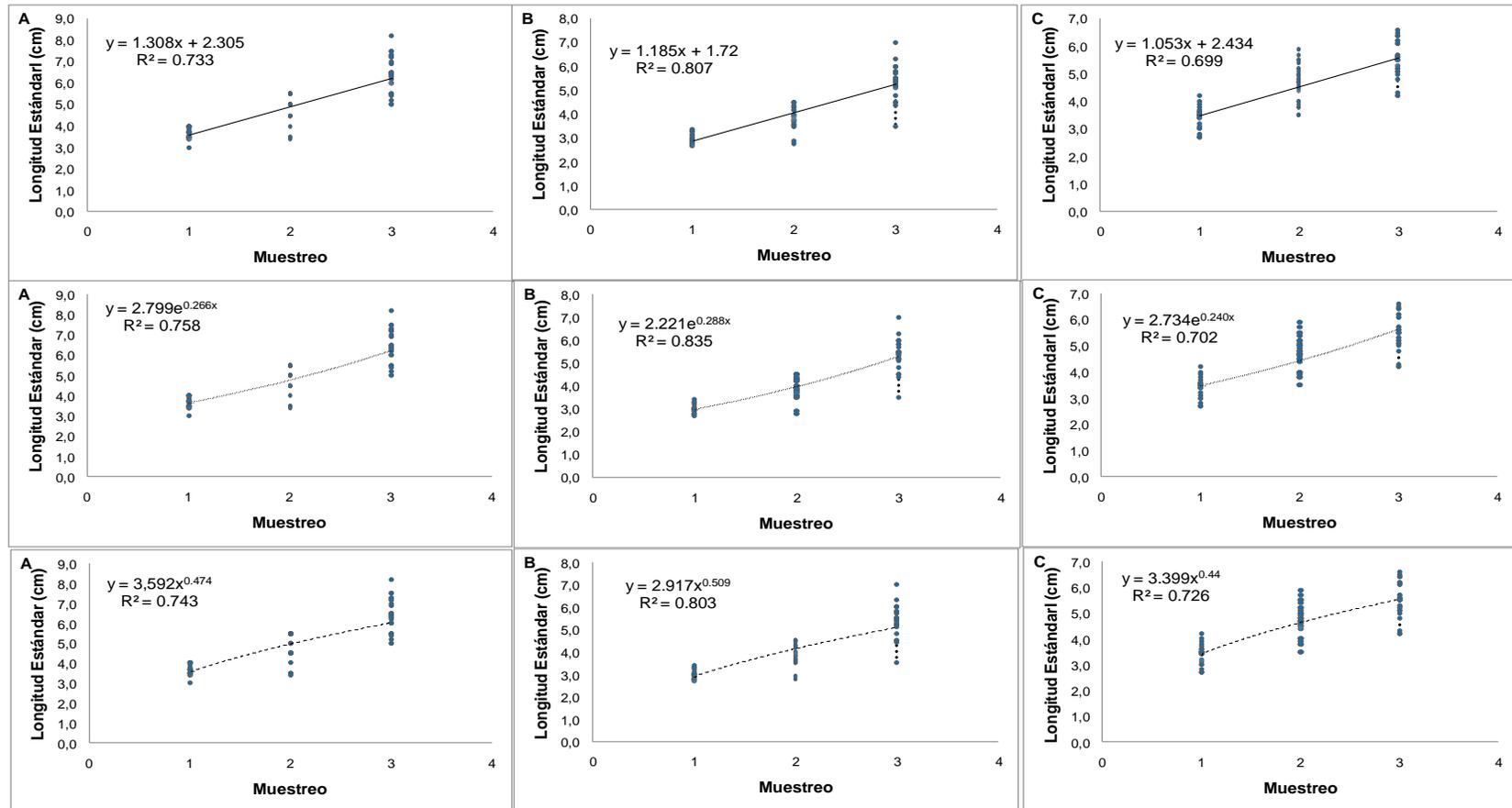


Figura 12. Modelos de crecimiento lineal, exponencial y potencial (de arriba abajo) evaluados para longitud estándar en función del tiempo (muestreo) con su ecuación y coeficiente de determinación (R^2). Las letras mayúsculas (A, B y C) indican el grupo correspondiente.

