



**EFFECTO DE LA RESTRICCIÓN ALIMENTICIA Y EL AYUNO TOTAL  
EN EL CRECIMIENTO, MORFOLOGÍA Y SOBREVIVENCIA DEL  
BOCACHICO (*Prochilodus magdalenae*, STEINDACHNER 1878) DURANTE  
LA FASE DE ALEVINAJE**

**JORGE ALBERTO GONZALEZ MONTERO**

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
BOGOTÁ, D. C.**

**2006**

**EFECTO DE LA RESTRICCIÓN ALIMENTICIA Y EL AYUNO TOTAL  
EN EL CRECIMIENTO, MORFOLOGÍA Y SOBREVIVENCIA DEL  
BOCACHICO (*Prochilodus magdalenae*, STEINDACHNER 1878) DURANTE  
LA FASE DE ALEVINAJE**

**PRESENTADO POR:  
JORGE ALBERTO GONZALEZ MONTERO**

**DIRECTOR:  
ADRIANA RODRÍGUEZ FORERO, PhD**

**CODIRECTOR:  
ORLANDO MARTÍNEZ, PhD**

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
BOGOTÁ, D. C.  
2006.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a Dios por iluminarme y brindarme las herramientas y capacidades necesarias para superar todos los obstáculos y lograr dar por terminados mis estudios académicos y el presente trabajo.

A mis padres por todo el apoyo y respaldo que me han brindado en el transcurso de la carrera y éste trabajo.

A la Doctora Adriana Rodríguez por su dirección, apoyo y continuo asesoramiento en el desarrollo de éste trabajo, lo cual hizo posible su realización.

Al profesor Orlando Martínez por la co-dirección y asesoramiento en el área estadística.

A los integrantes de laboratorio de zoología y ecología acuática de la universidad de Los Andes, especialmente a su director Emilio Realpe por permitir el uso de las instalaciones y los materiales necesarios de dicho lugar.

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización del trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

Lista de figuras

Lista de tablas

Resumen

1. Introducción
2. Objetivos
  - 2.1 General
  - 2.2 Específicos
3. Marco teórico
  - 3.1 Generalidades
    - 3.1.1 Ubicación taxonómica
    - 3.1.2 Descripción y morfología externa
    - 3.1.3 Biología de la especie
    - 3.1.4 Hábitos alimenticios
    - 3.1.5 Reproducción
    - 3.1.6 Distribución geográfica
    - 3.1.7 Importancia económica
    - 3.1.8 Protección
  - 3.2 Crecimiento compensatorio
  - 3.3 Ayuno
  - 3.4 *Ichthyophthirius sp.*
4. Materiales y métodos
  - 4.1 Aclimatación
  - 4.2 Protocolo experimental
    - 4.2.1 Tratamiento 1: Tratamiento control – Alimentación constante
    - 4.2.2 Tratamiento 2: Alimentación restringida 8 días – Realimentación

- 4.2.3 Tratamiento 3: Tratamiento control – Alimentación constante
    - 4.2.4 Tratamiento 4: Ayuno total 5 días – Realimentación
  - 4.3 Crecimiento y supervivencia
    - 4.3.1 Tasa de crecimiento específico (TCE)
    - 4.3.2 Eficiencia de conversión alimenticia (ECA)
  - 4.4 Evaluación histológica
  - 4.5 Análisis estadístico
- 5. Resultados
  - 5.1 Crecimiento y supervivencia
    - 5.1.1 Tratamiento 1: Tratamiento control – Alimentación constante
    - 5.1.2 Tratamiento 2: Alimentación restringida
    - 5.1.3 Tratamiento 3: Tratamiento control – Alimentación constante
    - 5.1.4 Tratamiento 4: Ayuno total
  - 5.2 Datos físico-químicos
    - 5.2.1 Oxígeno disuelto ( $O_2$ )
    - 5.2.2 Temperatura ( $T_2$ )
    - 5.2.3 pH
    - 5.2.4 Nitrógeno amoniacal ( $NH_3$ )
  - 5.3 Ataque de la enfermedad
    - 5.3.1 Sintomatología
    - 5.3.2 Descripción de resultados
      - 5.3.2.1 Patología por ayuno
      - 5.3.2.1 Patología por protozooario
- 6. Discusión
- 7. Bibliografía

## **LISTA DE FIGURAS**

1. Bocachico, *Prochilodus magdalenae*
2. Distribución geográfica del bocachico en Colombia
3. Ciclo vital de *Ichthyophthirius*
4. Lugar de realización del experimento
5. Biometría de los alevinos
6. Porcentajes de las mortalidades
7. Diferencias entre los tratamientos
8. Medidor digital de oxígeno disuelto y temperatura (T°)
9. Toma de muestras de pH
10. Toma de muestras de nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>)
11. Sintomatología de la enfermedad
12. Histología de la piel del bocachico
13. Histología del tubo digestivo
14. *Ichthyophthirius sp.*

## **LISTA DE TABLAS**

1. Resumen de pesos promedio
2. Comparación histológica de piel y branquias
3. Comparación histológica de tubo digestivo

## RESUMEN

Para conocer la respuesta de los alevinos de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) al estrés nutricional se plantearon cuatro tratamientos. Dos tratamientos fueron sometidos a alimentación restringida y a ayuno total cada uno de los cuales fue acompañado por un tratamiento control, alimentado constantemente. El experimento tuvo una duración de 40 días por cada fase y se utilizaron un total de 1400 animales. Se evaluaron la tasa de crecimiento específico, la eficiencia de conversión del alimento, la mortalidad y los cambios histopatológicos en los alevinos de bocachico sometidos al estudio. Cada tres días se monitorearon el oxígeno disuelto, el pH, la temperatura y los niveles de amonio. Los tratamientos donde los peces fueron alimentados constantemente los alevinos crecieron de forma normal, mostraron una tasa de crecimiento específico (TCE) de 0.70 y una eficiencia de conversión alimenticia (ECA) de 1.17, resultados muy diferentes ( $P < 0.05$ ) a lo observado en los tratamientos sometidos a alimentación restringida y a ayuno total, con valores promedio de -1.57 y -13.8, con los cuales los alevinos presentaron síntomas claros de desnutrición y el ataque por *Ich* debido al estrés causado por la ausencia de una correcta alimentación. Las mortalidades aumentaron drásticamente transcurridos los primeros 20 días de haber comenzado el experimento en los dos tratamientos que fueron sometidos al estrés nutricional llegando al 100% de mortandad. El estudio histopatológico demostró daño severo en la musculatura y morfología del tubo digestivo y el estrés al que fueron sometidos estos alevinos influyó en su fisiología y morfología, conduciéndolos a una deficiencia inmunológica que los hizo susceptibles al ataque fulminante de un agente parasitario conocido como *Ichthyophthirius sp.* el cual provocó daños en piel con respuesta inflamatoria e hiperplasia epitelial en branquias. La respuesta de los alevinos de bocachico al ayuno es similar a la de otros teleósteos, los cuales gastan sus reservas energéticas y modifican estructuralmente sus órganos.

## JUSTIFICACION

En acuicultura, el alto costo del alimento sigue siendo una limitante para la rentabilidad económica de estos sistemas de producción animal. Por esto se siguen estudiando y desarrollando métodos que mejoren el rendimiento durante el crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento en las especies aptas para esta actividad. Se han descrito varias metodologías que auguran mejoras en la eficiencia de utilización del alimento pero algunos de estos planteamientos, a menudo no maximizan el potencial de crecimiento. Una técnica que mejora, tanto la velocidad de crecimiento como la eficiencia de la utilización del alimento ha sido obtener crecimiento compensatorio en respuesta a periodos de restricción de alimento o de ayuno (Díaz *et al.* 2003).

El bocachico (*Prochilodus magdalenae*) forma la columna vertebral de la pesquería del río Magdalena, representando el 70% de las capturas de las pesquerías continentales de Colombia (Beltrán *et al.* 2000), convirtiéndose en la especie íctica nativa de agua dulce de mayor importancia económica en el país por su alto nivel de pesca, asociada con la migración para el desove (De Fex, 1982). Durante los últimos años las capturas de bocachico han presentado una tendencia decreciente constante, en lo cual concuerdan los científicos que estudian la especie, si bien para el año de 1993 las capturas fueron de 12.834 toneladas, para el año de 1997 la captura solo fue de 3.729.5 toneladas (Muñoz & Valderrama, 1996 - 1997), cifras que no concuerdan con las presentadas por Mojica *et al.* (2002), probablemente debido a las diferentes técnicas de muestreo empleadas.

El bocachico ha sido tema de numerosos estudios y experimentos encaminados principalmente a su biología, migración y desove, ecología, fertilización artificial y piscicultura experimental o rústica (de engorde) aunque aún son grandes los vacíos de información respecto a su dinámica poblacional y rutas migratorias; esta última a excepción del Sinú donde se conocen con más detalle por los estudios adelantados para la represa de Urrá. En cautividad, son escasos los conocimientos sobre su morfología, fisiología, ontogenia, larvicultura, entre otros, que deben ser tratados y profundizados con el fin de optimizar su producción artificial.



El grave estado de sobreexplotación del bocachico y niveles de rendimientos sostenibles sobrepasados para esta especie muestran un alto grado de sobrepesca, lo cual, unido a elevadas tasas anuales de mortalidad (Valderrama *et al.*, 1993 en Mojica *et al.*, 2002), lo han llevado a estar catalogado como especie amenazada (Mojica *et al.*, 2002).

Los grandes descensos en la producción de bocachico, deben crear inquietud a la comunidad científica de tal manera que se generen trabajos conducentes a su preservación; por esta razón se plantea el presente trabajo con el ánimo de reducir costos de alimentación del bocachico en los sistemas de producción intensivos, ya que los costos de alimentación pueden alcanzar entre un 60 a un 70% de los costos totales. El presente trabajo busca contribuir para la recuperación de una especie nativa de alto valor social, económico y cultural.

## 1. INTRODUCCION

En el medio natural, muchos organismos experimentan periodos en los cuales la disponibilidad de alimento es escasa o nula, por esta razón, deben adecuarse a estas oscilaciones. Como una adaptación, exhiben un rápido crecimiento en el momento en que se reestablece la disponibilidad alimenticia. Esta compensación del crecimiento ha sido observada en diferentes organismos tales como en invertebrados, peces, mamíferos y aves (Gurney *et al.* 2002). Tal fenómeno es conocido como “crecimiento compensatorio” el cual consiste, que después, de una privación total o parcial de alimento, se experimenta una elevada tasa de consumo del mismo (hiperfagia) y una mayor eficiencia de asimilación de éste en el individuo (Gurney *et al.* 2002); el fenómeno representa una herramienta que podría ser utilizada como paliativo para mejorar la producción de peces en sistemas artificiales.

Teniendo en cuenta lo anterior, el crecimiento compensatorio es una de las estrategias que pueden ser empleadas en el manejo de la alimentación de los peces para mejorar su tasa de crecimiento y consecuentemente disminuir los costos de producción; además, es útil después de procesos de enfermedad mostrando alto consumo y consecuente recuperación del peso perdido a causa de ella (Rabello *et al.*, 2004).

En un cultivo, los individuos que sufren una reducción en el crecimiento debido a un periodo de ayuno, están en desventaja respecto de aquellos peces que han tenido acceso de forma continuada al alimento. El crecimiento compensatorio proporciona al individuo una posible respuesta para superar, o al menos reducir, esa desventaja. Esta estrategia puede ser definida como un proceso fisiológico en el cual el organismo acelera el crecimiento después de un periodo de ayuno estricto, normalmente en virtud de reducir la ingestión de alimento (Hornick *et al.*, 2000 en Rabello, 2004.). La velocidad de crecimiento durante la fase de compensación es superior a la de aquellos individuos que han estado alimentándose constantemente y esto permite que el tamaño del pez subalimentado converja completamente (compensación total) o parcialmente (compensación parcial) hasta el de aquellos peces que fueron alimentados continuamente (Díaz *et al.* 2003).

El mecanismo por el que los peces sometidos a una restricción alimentaria previa son capaces de compensar esta situación incrementando la velocidad de crecimiento y/o la eficiencia de utilización del alimento durante el periodo de realimentación no ha sido aclarado todavía. Se han descrito varios cambios fisiológicos y metabólicos que tienen lugar en respuesta a la restricción de alimento: reducción drástica de la masa visceral y tamaño de órganos, cambios en los niveles de glucosa plasmática y ácidos grasos libres, en los niveles de ADN y ARN, de hormonas tiroideas y de proteasas digestivas, entre otros (Díaz *et al.* 2003). En este sentido, se hace necesario seguir investigando sobre los cambios que tienen lugar durante las fases de ayuno y realimentación que desencadenan el fenómeno de crecimiento compensatorio, para dilucidar sus causas y la forma de controlarlo, a ser posible, para mejorar la eficiencia de los cultivos acuícolas (Díaz *et al.* 2003).

En piscicultura, el crecimiento compensatorio como estrategia de manejo alimenticio está bien documentado en el bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) (Gaylord & Gatlin III, 2000 en Rabello *et al.* 2004), en los salmónidos (Jobling & Koskela, 1996, Nicieza & Metcalfe, 1997 en Rabello *et al.* 2004), en los ciprínidos (Bastrop *et al.*, 1991 en Rabello *et al.* 2004) y en otras especies como el “salmón del Ártico” (*Salvelinus alpinus*) (Miglav & Jobling, 1989 en Rabello *et al.* 2004) y en el híbrido de “pez sol” (*Lepomis macrochirus*) (Hayward *et al.*, 1997 en Rabello *et al.* 2004). Información sobre la respuesta de peces tropicales a la privación alimenticia es escasa, aunque se encuentra sobre pacú (*Piaractus mesopotamicus*) y tambaqui (*Colossoma macropomum*), entre otros (Rabello *et al.* 2004). En nuestro país, estos estudios son nulos.

El fenómeno de crecimiento compensatorio, se produce a expensas de una elevada tasa de consumo de alimento (hiperfagia) y a una mayor eficiencia de asimilación (Hepher, 1993; Jobling, 1994; Qian *et al.*, 2000 en INICNE Y UNNE, s.f) luego de un periodo de escasez o restricción total o parcial de alimentación, pudiendo ser utilizado como tratamiento para mejorar la producción en piscicultura. El presente trabajo, fue realizado con el objetivo de evaluar la capacidad de crecimiento compensatorio de alevinos de bocachico, empleando una estrategia de tres fases, una de ayuno restringido, una de ayuno total y otra consecuente, de alimentación consistente en proveer alimento hasta saciedad.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 General

Incrementar el conocimiento de la biología del bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en las fases tempranas de su desarrollo en cautividad.

### 2.2 Específicos

- Evaluar si existe crecimiento compensatorio en el bocachico (*P. magdalenae*) en la fase de alevinaje.
- Describir los cambios corporales macroscópicos de alevinos de bocachico durante etapas de alimentación restringida y ayuno en un cultivo artificial.
- Describir los cambios tisulares del alevino durante las etapas de alimentación restringida y ayuno en un cultivo experimental.
- Describir los cambios histopatológicos ocurridos en alevinos de bocachico durante un ataque por *Ichthyophthirius* durante un cultivo experimental.

### 3. MARCO TEORICO

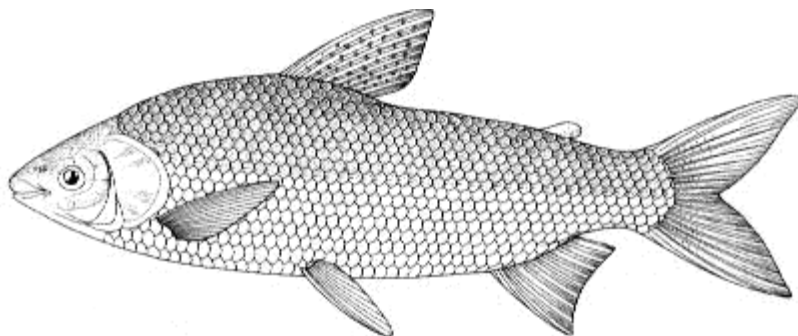
#### 3.1 GENERALIDADES

El bocachico pertenece a la familia Prochilodontidae, la cual se caracteriza por ser migratoria y de hábitos detritívoros. Constituyen importantes pesquerías continentales de Argentina, Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela y Guayanas (Becerra (1983) en Hernández & Rodríguez, 2001).

Sus mayores volúmenes de captura se registran en la época de subienda, durante la cual gastan sus reservas energéticas en la formación de gametos, madurando sexualmente y desovando una vez encuentran las condiciones propicias (Becerra, 1983 en Hernández & Rodríguez, 2001).

Dentro de las variedades de *Prochilodus* colombianos el más importante en el ámbito económico es el bocachico del Magdalena (*Prochilodus magdalenae* Steindachner 1878). Aunque existen otras especies valiosas como el denominado comúnmente “boquichico, coporo o bocachico llanero” (*Prochilodus mariae*) en la cuenca del Orinoco y el bocachico del Amazonas (*Prochilodus nigricans*) el cual se distribuye en lagunas de desborde del río Amazonas en la isla de Ronda (Azobional, 1990 citado por Ruiz, 1994 y en Chaparro, 2002).

##### 3.1.1. UBICACIÓN TAXONOMICA.



**Figura 1.** Bocachico, *Prochilodus magdalenae* (Tomado de Mojica *et al.* 2002).

Phylum:	Chordata
Subphylum:	Vertebrata
Superclase:	Gnathostomata
Clase:	Osteichthyes
Subclase:	Actinoptergii
Infraclase:	Teleostei
Division:	Euteleosti
Superorden:	Ostariophysi
Serie:	Otophysi
Orden:	Cypriniformes
Suborden:	Characoidei
Superfamilia:	Characoidae
Familia:	Prochilodontidae
Genero:	<i>Prochilodus</i> AGASSIZ, 1829
Especie:	<i>Prochilodus magdalenae</i> , STEINDACHNER, 1878
Nombre vulgar:	Bocachico.

Tomado de Donoso y Guio (1996) en Hernández & Rodríguez, 2001

### **3.1.2. DESCRIPCIÓN Y MORFOLOGÍA EXTERNA**

El bocachico es un pez fusiforme, hidrodinámico, de talla relativamente grande, que alcanza a crecer más de 50 cm. de longitud total y que puede llegar a los dos kilogramos de peso. La coloración de los adultos es plateada uniforme, con aletas con matices rojos o amarillos. Sus escamas son rugosas al tacto y la serie de la línea lateral está compuesta por 40 a 46 escamas perforadas. Los machos de bocachico se distinguen fácilmente de las hembras por ser más delgados y esbeltos (Mojica *et al.* 2002).

Presenta cabeza simétrica cubierta de huesos dérmicos o de membrana; el opérculo está situado por delante de las aletas pectorales cubriendo a lado y lado la cámara branquial, dejando un par de aperturas branquiales (Becerra, 1983 en Hernández & Rodríguez, 2001).

El rostro es corto visto dorsalmente, la boca pequeña y protráctil, se encuentra en posición terminal. Presenta numerosos dientes débiles colocados alrededor de los labios y una segunda hilera en forma de V sobre la premaxila y la mandíbula. Las narinas y orificios nasales están localizados en un pliegue cutáneo en posición antero dorsal. Los ojos se sitúan simétricamente a lado y lado de la cabeza con distancia preocular corta, son grandes y no poseen párpados (Becerra, 1983 en Hernández & Rodríguez, 2001).

Las aletas están constituidas por radios cartilagosos y óseos cubiertos de pliegues dérmicos. Las aletas pares son: las pectorales ubicadas cerca del opérculo y constituidas por 9 radios (Miles, 1974, citado por Becerra, 1983 en Hernández & Rodríguez, 2001). Las aletas impares son la dorsal, anal y caudal. La aleta dorsal se ubica en la parte superior del cuerpo, tiene inicio en el segundo tercio de la longitud esquelética, posee 12 radios y en la parte anterior lleva una fuerte espícula punzante constituyendo un refuerzo de la aleta. La aleta anal se localiza posteriormente a la papila genito-urinaria y está formada por 9 radios. La aleta caudal está ubicada en la parte posterior del cuerpo, su parte anterior está cubierta de escamas, constituidas por dos lóbulos iguales, cada lóbulo posee 10 radios (Becerra, 1983 en Hernández & Rodríguez, 2001).

### **3.1.3. BIOLOGIA DE LA ESPECIE**

El bocachico (*Prochilodus magdalenae*) es un carácido migratorio. Hace algunos años constituía más de la mitad de la pesca obtenida de las aguas dulces naturales del país, de tal modo que se convirtió en el pez comestible más conocido y apreciado por los habitantes del sistema magdalénico (Chaparro, 1994 en Chaparro 2002).

Chaparro (1994) y Fadul (1998) afirman que teniendo en cuenta la configuración de la boca y sus diminutos dientes villiformes, el bocachico puede clasificarse según sus hábitos alimenticios, como una especie iliófaga o limnófaga que obtiene su alimento del lodo de ríos y lagos.

La larva de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) al eclosionar tiene una longitud aproximada de 4.0 a 4.5 mm, está provista de saco vitelino, corazón y musculatura del tronco completamente funcional, presenta órganos olfatorios y pueden observarse los primeros esbozos del tracto

intestinal. Los demás órganos son rudimentarios y se aprecian mejor luego de la absorción del saco vitelino que ocurre entre las 24 y 72 horas después de la eclosión. En las horas siguientes las larvas desarrollan mandíbulas y dientes, a partir de este momento su nutrición depende exclusivamente del alimento exógeno que se les pueda proveer (Donoso y Guió, 1996; Giraldo, 1985 en Chaparro, 2002).

La alimentación, al igual que otros factores en la ecología del bocachico tales como el crecimiento y la reproducción, son determinados por el nivel de las aguas. Durante las aguas altas, permanece en las ciénagas alimentándose del detritus proveniente de la descomposición de la materia orgánica aportada principalmente por la vegetación acuática (macrófitas). En esta época la abundante disponibilidad de alimento permite el rápido aumento en tamaño y biomasa de los individuos, así como el acúmulo de grasas. En los meses de diciembre a enero, con el inicio del periodo de aguas bajas, abandona las ciénagas y remonta los ríos en busca de los tributarios laterales, en una migración masiva conocida como “subienda” mencionada anteriormente. Allí permanece durante todo el periodo seco y se alimenta de las algas que crecen adheridas a las rocas y palos sumergidos (perifiton). El gasto energético que implica remontar los ríos, sumado al cambio a una dieta menos rica, conlleva a la pérdida de peso de los individuos, lo cual al parecer es uno de los factores desencadenantes de la maduración sexual. Con la llegada de la temporada de lluvias retorna a las ciénagas con las gónadas ya maduras en un desplazamiento que se conoce como “bajanza” (marzo – abril). Durante el descenso tiene lugar el desove en los canales de los ríos y las aguas de desborde se encargan de transportar los alevinos a las planicies de inundación donde se reinicia el ciclo descrito (Mojica *et al.* 2002).

#### **3.1.4 HÁBITOS ALIMENTICIOS**

Los Prochilodontidae tienen una alimentación básicamente iliófaga – detritívora, succionando con su boca en forma de ventosa el lodo del fondo para aprovechar las diatomeas y detritos orgánicos (Mago, 1972 en Caicedo & Perez, 2001).

Entre las adaptaciones que han sufrido los peces iliófagos se encuentra la forma de la boca, que es subterminal con dientes viliformes adaptados para raspar los fondos. Por ser un pez planctófago posee branquioespinas finas y numerosas. El estómago es diferenciado y presenta



una serie de ciegos pilóricos debido a que gran parte de su alimentación consiste en algas bentónicas (Rodríguez *et al.*, 1995 citado por Hernández & Rodríguez, 2001).

### **3.1.5. REPRODUCCION**

Los peces de río solo desovan cuando el nivel de las aguas está en ascenso. Durante el invierno, (desde la segunda mitad del mes de mayo hasta la segunda de noviembre), el ambiente natural del bocachico lo forman las extensas ciénagas de los ríos Magdalena, Sinú, Cauca, Atrato y San Jorge. Tales ciénagas resultan criaderos ideales por la abundancia de agua de diversas profundidades, parcialmente cubiertas por amplia vegetación que da sombra y ayuda a enriquecer el agua con oxígeno (Dahl *et al.* 1963, en González, 2003).

Cuando cesan las lluvias el ambiente físico-químico de las ciénagas empieza a variar; el nivel del agua baja lentamente, la temperatura aumenta uno o dos grados centígrados; en este momento, el bocachico entre otras especies migratorias, avanzan río arriba hasta llegar a la desembocadura de algún tributario de regular tamaño (González, 2003). En los remansos, donde las aguas son menos torrentosas se lleva a cabo el desove, la fertilización de los huevos y la formación de los que irán a remplazar a los peces que ya han cumplido su ciclo de vida. Los alevinos son arrastrados hasta las ciénagas, allí se desarrollan y adquieren la talla suficiente para iniciar nuevamente la subienda (Quintero & Velásquez, 1993).

Dahl (1971) estimó que este ciclo de vida del bocachico es de 4 años, edad a la que alcanza su longitud total. El número de huevos por postura de las hembras puede variar entre 80.000 y 1.000.000 aproximadamente, dependiendo de la talla. En esta estrategia reproductiva denominada r, se produce una enorme cantidad de huevos de los cuales sólo unos pocos logran desarrollarse hasta adultos. Sin duda, se trata de una adaptación de la especie que le permite soportar mortalidades masivas derivadas de las condiciones fluctuantes del medio (Mojica *et al.* 2002).

### **3.1.6. DISTRIBUCION GEOGRAFICA**

Se distribuye en todas las zonas bajas de los sistemas del Magdalena, Sinú y Atrato, río Ranchería hasta aproximadamente los 1.000 msnm. Por el río Cauca alcanza a remontar la cuenca alta hasta los 1.500 msnm debido a la pendiente suave (Mojica *et al.* 2002).

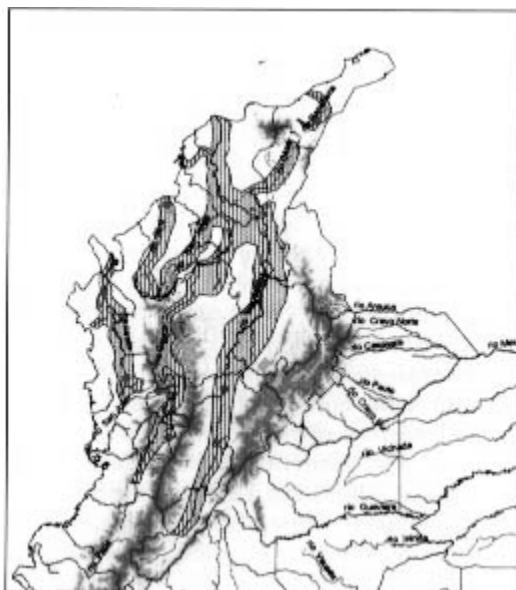


Figura 2. Distribución geográfica del bocachico en Colombia [hatched pattern] = distribución (Tomado de Mojica *et al.* 2002).

### 3.1.7. IMPORTANCIA ECONOMICA

El bocachico es en la actualidad una de las especies con mayor grado de vulnerabilidad en la cuenca del Magdalena, por su alto aporte a la pesca comercial y de consumo. En sus mejores momentos y antes de la declinación en sus capturas, produjo cerca del 60% de la pesca total de la cuenca Magdalénica, con aproximadamente 40.000 toneladas anuales (Mojica *et al.* 2002).

En la actualidad su situación es alarmante, pues se estima que el volumen de capturas ha descendido en un 90% en los últimos años. La talla media de captura se redujo de 38 cm. en 1973 a 27 en 1.987 (Zárate *et al.* 1988 en Mojica *et al.* 2002). Esta especie que históricamente aportaba cerca del 45% de la pesca total de la cuenca (Valderrama *et al.* 1993 en Mojica *et al.* 2002) descendió de 38.000 ton. en 1978 a sólo 6.000 ton. en 1999, lo que en términos porcentuales corresponde a una pérdida del 84% (Mojica *et al.* 2002).

El bocachico es una especie nativa muy promisoriosa y de excepcional valor desde el punto de vista de la piscicultura con amplias posibilidades de exportación (Atencio, 2000 en Mojica *et al.* 2002). Esta especie puede reproducirse en estanques o en lagos bien sea en monocultivo o en policultivo, gracias a su gran facilidad de adaptación. Su producción acuícola se estimó en 1.474 t en el 2000 y en la actualidad es la cuarta especie más cultivada en Colombia, por esta razón, la

demanda de alevinos de esta especie se ha incrementado, así como por la ejecución de programas de repoblamiento en las principales cuencas hidrográficas del país (Mojica *et al.* 2002).

Además el bocachico se puede emplear como pez forrajero para llevar a cabo grandes producciones de otros peces de mayor tamaño que sean carnívoros (Quintero & Velásquez, 1993).

### **3.1.8 PROTECCION**

Ante la situación de deterioro de la pesca del bocachico en la cuenca del Magdalena y del Sinú se ha tratado de buscar soluciones en la construcción de estaciones piscícolas para el repoblamiento con esta especie. Los resultados de estos intentos no han sido satisfactorios, de una parte por su alto costo y de otra porque en los programas de liberación de alevinos nunca se ha contemplado la alta mortalidad que ocurre de manera natural en estos estadios juveniles, cercana al 98%. Cabe aquí la pregunta de cuáles serían las dimensiones de una estación piscícola de alevinaje necesarias para reemplazar la postura de una sola hembra, teniendo en cuenta que la capacidad instalada del país no supera los 2.000.000 alevinos/año (Mojica *et al.* 2002).

Dado el potencial reproductivo de la especie por la alta fecundidad, que en algunos individuos llega al millón de ovas por hembra y por periodo reproductivo, bastaría simplemente con procurar que el mayor número posible de individuos adultos logre reproducirse, para lo cual se requiere la protección de la especie durante los periodos de reproducción, concordantes con la migración de subienda (Mojica *et al.* 2002).

En Colombia también se ha desconocido que los programas de repoblamiento de especies siempre deben ir ligados a estudios de genética de poblaciones tanto de los animales a incluir en un ambiente nuevo, como de las poblaciones existentes en ese medio y de vedas estrictas de pesca. Liberar alevinos y no controlar la pesca es un contrasentido tanto económico como biológico (Mojica *et al.* 2002).

### **3.2 CRECIMIENTO COMPENSATORIO**

Muchos organismos exhiben un rápido crecimiento durante la recuperación de una total o parcial restricción alimenticia que tienen durante periodos de continua disponibilidad de comida (Wilson & Osbourn, 1960; Jobling 1994 en Ali *et al.* 2003). En consecuencia, estos individuos experimentan un periodo de depresión del crecimiento y en el momento que las condiciones vuelvan a la normalidad a nivel alimenticio, se lleva a cabo la restauración de la trayectoria normal del mismo. La respuesta que tiende a restaurar esta trayectoria original de crecimiento es comúnmente llamada “Crecimiento Compensatorio”. (Ali *et al.* 2003). El crecimiento compensatorio ha sido también definido como cualquier crecimiento que reduce la varianza en el sistema (Atchley 1984 en Ali *et al.* 2003) o como la correlación negativa entre el crecimiento de cierta característica en intervalos de tiempo sucesivos (Ricker 1969, 1975; Riska *et al.* 1984 en Ali *et al.* 2003).

El crecimiento compensatorio ha sido estudiado en endotermos domesticados, de la misma manera ha sido observada en un rango de invertebrados y vertebrados (Wilson & Osbourn 1960; Sibly & Calow 1986 en Ali *et al.* 2003). Los teleosteos son ectotermos con patrones de crecimiento indefinidos, los cuales permiten la evaluación del proceso compensatorio en casi todos los estados de sus ciclos de vida. El crecimiento compensatorio ha sido estudiado, en más especies de peces que en cualquier otro taxa de vertebrados. Estudios en peces han sido también pioneros en el análisis de los efectos de depresores de crecimiento diferentes al hambre, incluyendo bajas de temperaturas no estacionales, exposiciones a hipoxia y profilácticos como también esfuerzos reproductivos. Estas son de la misma manera, razones prácticas para realizar estudios de compensación del crecimiento en peces. El grupo incluye muchas especies de importancia económica y social debido a la explotación en pesqueras comerciales y recreacionales o al uso en acuicultura (Ali *et al.* 2003).

El crecimiento compensatorio es conocido por ser significativamente más rápido que la tasa de crecimiento de animales control que no han experimentado depresión de este, lograda bajo condiciones comparables. Este crecimiento acelerado eventualmente disminuye las tasas de crecimiento típicas de los animales control. El crecimiento puede ser controlado por mecanismos

de realimentación, los cuales se ajustan a tasas de crecimiento y logran una trayectoria objetiva (Tanner 1963; Monteiro & Falconer 1966; Hubbell 1971 en Ali *et al.*, 2003).

Una consecuencia importante de la compensación del crecimiento es la convergencia de las trayectorias del crecimiento de los individuos, las cuales reflejan el objetivo buscado. Este es un proceso que tiende a canalizar cambios ontogénicos en la talla y a equilibrar los efectos de la variabilidad ambiental (Wootton 1998 en Ali *et al.* 2003).

### **3.3 AYUNO**

Muchas especies de peces pueden durante algún periodo de su vida, estar sometidas a variaciones en la disponibilidad de alimento debido a diversas situaciones de tipo estacional, climáticas, por competencia alimentaria interespecífica o migraciones reproductivas. Estos periodos de ayuno son condiciones frecuentes en la vida de los peces. Las modificaciones del entorno condujeron en la vía evolutiva de las especies al desarrollo de una serie de cambios metabólicos y de comportamiento con el fin de adaptarse a las condiciones dominantes (Bastrop *et al.*, 1991; Méndez & Wieser, 1993 en Vigliano 2002), de tal manera que algunas especies puedan sobrevivir varios meses o incluso años sin ingerir alimento (Shimeno *et al.*, 1990; Olivereau & Olivereau, 1997 en Vigliano 2002). Las respuestas metabólicas a las oscilaciones en la disponibilidad de alimento varían dependiendo de numerosos factores, tales como la especie, la edad y el tamaño de los peces (Stimpson, 1965; Shimeno *et al.*, 1990; Méndez & Wieser, 1993 en Vigliano 2002). Así, las consecuencias del ayuno sobre el metabolismo son más pronunciadas en larvas y estadios juveniles que en peces adultos, probablemente debido a una menor cantidad de reservas energéticas (Gadomski & Petersen, 1988; Richard *et al.*, 1991 en Vigliano 2002). Causas extrínsecas como la temperatura también pueden tener incidencia en la respuesta metabólica (Brett, 1979; Méndez & Wieser, 1993 en Vigliano 2002). Otro factor importante a tener en cuenta en la dinámica de adaptación es la duración del periodo de ayuno y realimentación, ya que esto condiciona la adaptación de tipo metabólico dándole prioridad a una u otra vía de este tipo según sea conveniente para el organismo. Las pautas de alimentación de las distintas especies también influyen en la respuesta adaptativa. Así, las especies herbívoras y detritívoras ingieren alimento en forma continua, mientras que las carnívoras lo hacen con menos frecuencia y por

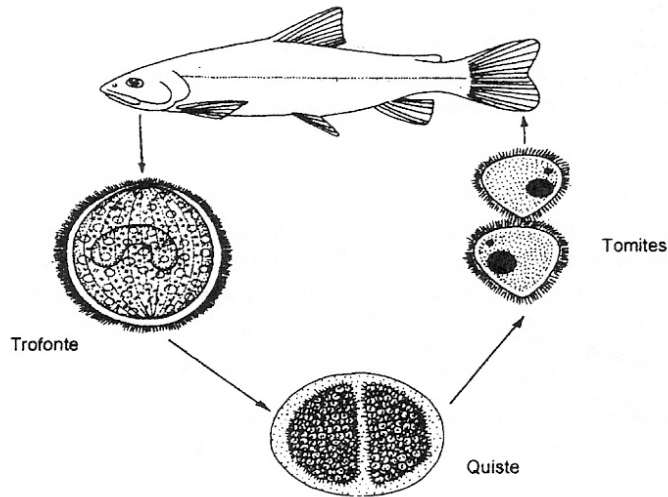
tanto se encuentran mejor adaptadas a periodos de restricción alimentaria (Bond, 1996 en Vigliano *et al.* 2002).

Durante la adaptación metabólica a situaciones de ayuno y realimentación se producen diversas modificaciones en el metabolismo intermediario de hidratos de carbono, lípidos y proteínas tendientes a mantener la homeostasis (Walton & Cowey, 1982; Bastrop *et al.*, 1991 en Vigliano 2002). Las principales modificaciones se producen en los órganos más activos en el metabolismo intermediario, tales como hígado, cerebro y músculo esquelético y son reguladas por los sistemas nervioso y endocrino (Murat *et al.*, 1981 en Vigliano *et al.* 2002).

De acuerdo a la duración del periodo de ayuno existen dos estados fisiológicamente diferentes. El primero se relaciona con las fases tempranas del ayuno (periodos menores a 7-10 días) y se caracteriza por la movilización rápida de las reservas disponibles. El segundo está vinculado a periodos crónicos de ayuno y se asocia a un pronunciado catabolismo lipídico y proteico, así como a pérdida de peso corporal (Farbridge & Leatherland, 1992 en Vigliano *et al.* 2002).

### **3.4 *Ichthyophthirius sp.***

El parásito *Ichthyophthirius* es responsable de la enfermedad de los puntos blancos en peces de agua dulce. Este se distribuye mundialmente y con gran frecuencia se halla en los peces de agua dulce y de acuario. Infesta normalmente la epidermis, aletas y branquias. *Ichthyophthirius* puede alcanzar 0.5-1 mm de diámetro, tiene el aspecto de una mancha blanca dentro del tegumento y se mueve dentro del quiste impulsado por los efectos de los cilios que recubren uniformemente su superficie corporal. *Ichthyophthirius* se reconoce fácilmente en los frotis por su tamaño y su núcleo característico en forma de herradura (Roberts, 2001). Cuando madura, *Ichthyophthirius* rompe la piel del huésped y pasa al agua, originando una erosión epitelial y un engrosamiento cuticular. El pez infestado antes de morir toma un color gris “sucio” debido en parte a un fallo en la osmorregulación. Una vez libre, el parásito se enquista en el sustrato, donde se divide para producir hasta 2.000 tomites ovals y ciliados de unas 20  $\mu$  de diámetro, que reinfectan a otros peces (Roberts, 2001).



**Figura 3.** Ciclo vital de *Ichthyophthirius* (Tomado de Conroy y Vásquez en INPA, Escobar *et al.*, 2001).

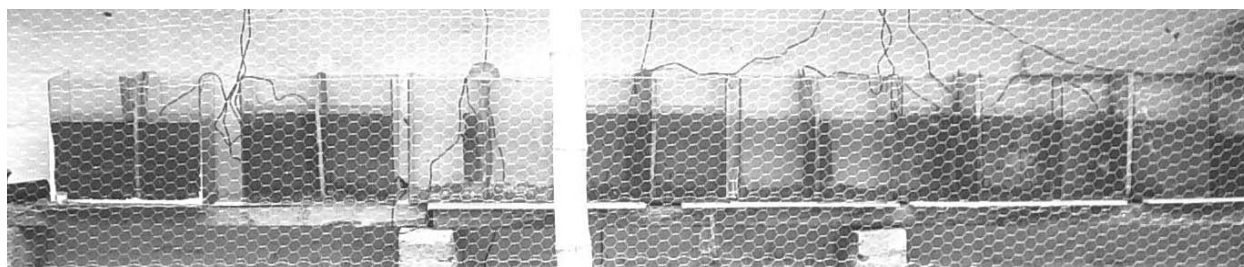
**La Ichthyophthiriasis**, es conocida por ser una infestación grave en peces de agua dulce, especialmente en alevinos. Estos parásitos se localizan principalmente en el tegumento en donde producen la forma clínica de la enfermedad llamada “punto blanco”, pero su efecto patológico más importante al parecer es a nivel branquial. El daño celular causado se considera serio dado que las formas infestantes tienden a localizarse sub-epitelialmente para efectuar las etapas subsiguientes de desarrollo (trofontes), produciendo enzimas líticas que destruyen las membranas basales y las uniones celulares (Roberts, 2001).

## 4. MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo durante el segundo semestre del año 2005 en la finca El Pórtico ubicada en la vereda del mismo nombre, en el kilómetro 30 vía Bucaramanga – Barrancabermeja, en el municipio de Lebrija departamento de Santander y tuvo una duración de 5 meses.

Se utilizaron 1.400 alevinos de bocachico (*Prochilodus magdalenae*), los cuales fueron obtenidos de un cultivo ubicado en la finca Agua Linda, situada en la región de Rionegro – Santander para la primera fase del estudio y de El paraíso en Villavicencio – Meta, para la segunda fase. Los animales fueron empacados e inmediatamente trasladados a la sede de experimentación.

En una bodega de 10 m<sup>2</sup> se dispusieron 9 acuarios de vidrio de 40 litros de capacidad, llenados con aguas lluvias, aireación constante y filtros SUNSUN HQJ-700J de 8 W con salida de 700 l/h. Los ensayos no se realizaron simultáneamente.



**Figura 4.** Bodega de experimentación ubicada en la finca El Pórtico (vía Bucaramanga – Barrancabermeja, Santander).

Cada tercer día se midieron el oxígeno disuelto y temperatura del agua con un oxímetro (HANNA INSTRUMENTS - HI 9143), el pH, con una prueba calorimétrica para acuarios (CARDUMEN PH-TEST). El nivel de amonio (nitrógeno amoniacal) se evaluó con un test colorimétrico (MYDOR<sup>TM</sup>).

### 4.1 Aclimatación

Los animales fueron contados y pesados, luego de lo cual se distribuyeron en los acuarios dispuestos para cada tratamiento. A cada acuario se le dio una ración de alimento (mojarrina 45% en harina - producido por la empresa AGRINAL – Colombia) de acuerdo con la biomasa



estabulada (5% de la biomasa). El alimento fue suministrado a razón de 5 veces al día. El periodo de aclimatación duró 8 días.

## **4.2 Protocolo experimental**

Luego de la aclimatación se efectuó el estudio que constó de cuatro tratamientos: dos tratamientos simultáneos equivalieron a un grupo control y un tratamiento de alimentación restringida. Los otros dos grupos correspondieron a un grupo control que se comparó con un grupo sometido a ayuno total y que se efectuó un mes después de iniciar el primer ensayo.

### **4.2.1 TRATAMIENTO 1: Tratamiento control - Alimentación Constante**

En este tratamiento se utilizaron 3 acuarios en los que se manejó una densidad inicial de 0.22 g/l y los alevinos tenían aproximadamente 20 días de eclosión, cuya talla y peso promedio fueron 26.7 mm y 0.16 g, respectivamente. Todos los peces se alimentaron hasta saciedad aparente (5 % de la biomasa) todos los días durante los 40 días que duró la investigación ( $n_o = 60$  por réplica).

### **4.2.2 TRATAMIENTO 2: Alimentación restringida 8 días – Realimentación**

Este tratamiento se realizó en 6 acuarios diferentes en los cuales se contó con una densidad promedio inicial de 0.24 g/l cuya talla y peso promedio fueron de 26.7 mm. y 0.16 g, respectivamente y los animales tuvieron una edad aproximada de 20 días de eclosión. Después de ser alimentados durante 15 días, se suprimió el suministro de alimento durante 8 días en los cuales los alevinos se alimentaron únicamente con material vegetal producido por la grava dispuesta en el fondo de los acuarios, luego de esto, se procedió a una realimentación hasta saciedad aparente ( $n_o = 60$  por réplica).

### **4.2.3 TRATAMIENTO 3: Tratamiento control - Alimentación Constante**

En este tratamiento se trabajó con 2 acuarios en los cuales se manejó una densidad inicial de 1.45 g/l y los peces tuvieron una edad aproximada entre 30 a 40 días de eclosión, cuya talla y peso promedio fueron 38.0mm. y 1.3g respectivamente. Todos los peces se alimentaron hasta saciedad aparente (5 % de la biomasa) todos los días durante los 40 días que duró la investigación ( $n_o = 45$  por réplica).

#### **4.2.4 TRATAMIENTO 4: Ayuno total 5 días – Realimentación**

Este tratamiento se realizó en 6 acuarios diferentes en los cuales se obtuvo una densidad promedio inicial de 1.46 g/l cuya talla y peso promedio fueron de 38 mm. y 1.3 g y los animales tuvieron una edad entre 30 y 40 días de eclosión. Luego de ser alimentados durante 15 días, se suprimió el suministro de alimento durante 5 días en los cuales los alevinos no tuvieron acceso a ningún tipo de alimento siendo estos sometidos a un ayuno estricto en este periodo de tiempo, al cabo del cual se procedió a una realimentación hasta saciedad aparente ( $n_0= 45$ ).

A todos los peces se les realizó biometría (longitud total y peso) antes y después de cada fase de experimentación con el fin de ajustar la dieta y evaluar cambios morfológicos.

### **4.3 Crecimiento y supervivencia**

El efecto de los diferentes tratamientos se determinó mediante los siguientes índices:

#### **4.3.1 Tasa de crecimiento específico (TCE):**

$$\text{TCE} = 100 (\ln W_f - \ln W_i) / \Delta t ,$$

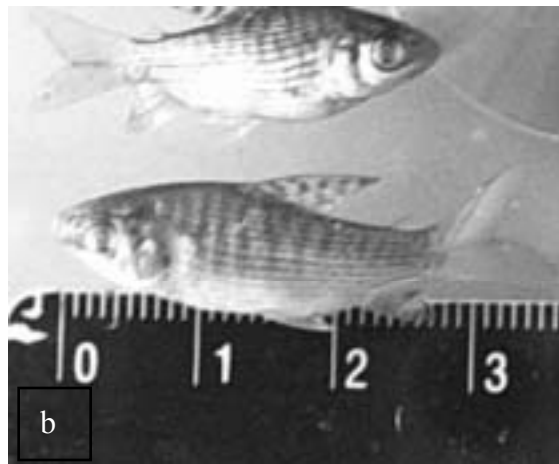
donde  $W_f$  corresponde al peso final del individuo por fase,  $W_i$  corresponde al peso inicial del individuo por cada fase y  $\Delta t$  corresponde al tiempo transcurrido por fase.

#### **4.3.2 Eficiencia de conversión alimenticia (ECA):**

$$\text{ECA} = 100 (W_f - W_i) / I,$$

donde  $W_f$  corresponde al peso final del individuo por fase,  $W_i$  corresponde al peso inicial del individuo por cada fase y el  $I$  corresponde al alimento seco total consumido durante cada fase experimental.

Se llevó a cabo un registro diario de la mortalidad en cada uno de los tratamientos, el cual se definió como el porcentaje de peces muertos en relación con los sobrevivientes al inicio de cada día.



**Figura 5.** Biometría de los alevinos. A) Peso, y B) talla de los alevinos de bocachico (*Prochilodus magdalenae*).

#### 4.4 Evaluación Histológica

Se tomaron muestras de los alevinos en las diferentes fases del experimento. Además, cuando se observaron alevinos enfermos éstos fueron colectados y fijados en formol al 10% para su posterior análisis histopatológico.

La histología de los alevinos se procesó mediante el método convencional (Drury & Wallington, 1980). Muestras de 1cm<sup>3</sup> se deshidrataron en gradientes de etanol y se incluyeron en parafina, después se cortaron con un micrótopo en cortes de 7 micras de espesor y se tiñeron con Hematoxilina-Eosina (H-E) con el fin ser analizadas al microscopio.

#### **4.5 Análisis estadístico**

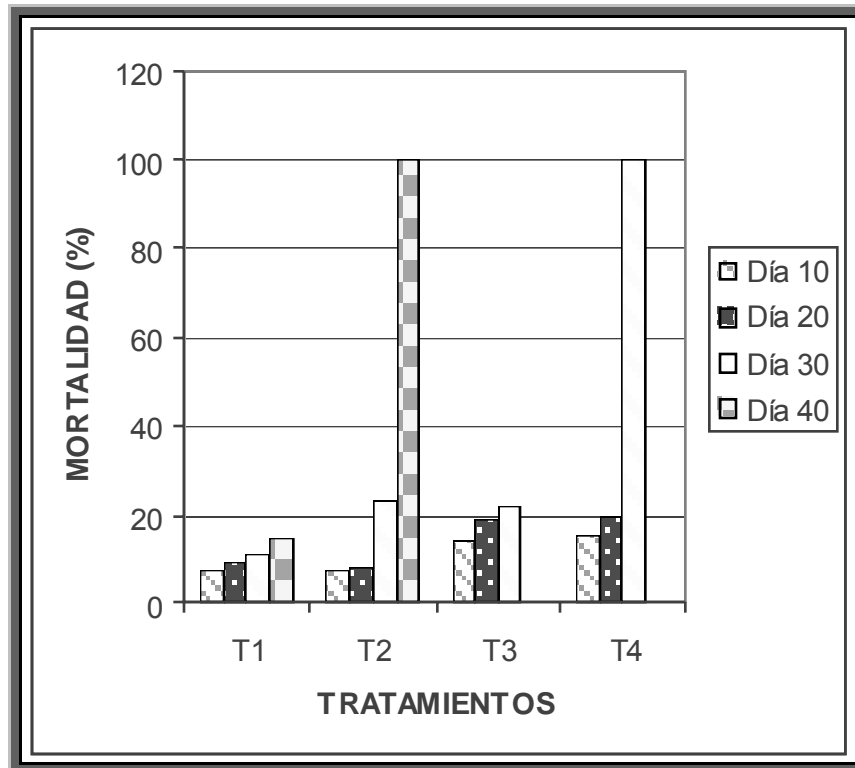
Para las pruebas estadísticas se utilizó el programa STATISTIX 7, con el cual se usó la prueba Shapiro-Wilk test para comprobar si los datos son o no normales (paramétricos o no paramétricos). Luego se procedió a utilizar la prueba de análisis de varianza ANOVA de una vía para los datos normales (datos paramétricos) y la prueba Kruskal – Wallis para la ANOVA de una vía para los datos que no presentaron normalidad (datos no paramétricos) para evaluar si existían o no diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. Cuando estas diferencias fueron detectadas por las pruebas comentadas ( $P < 0.05$ ) la prueba Tukey de rango múltiple fue aplicada para identificar grupos que fueran significativamente diferentes.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA

#### 5.1.1 TRATAMIENTO 1: Control - Alimentación Constante

En este tratamiento los peces fueron alimentados continuamente durante todo el estudio y los animales mostraron condiciones normales, sin síntomas o anomalías en su fisiología, ni en su comportamiento general. Se trabajó con un número total de 60 peces con una densidad promedio de 0.24 g/l, cuya talla y peso promedio fue de 26.7 mm. ( $\pm 0.15$  d.s.) y 0.16 g. ( $\pm 0.02$  d.s.) respectivamente y se observó un peso final promedio de 0.66 g que se reflejó en una biomasa de 39.8 g a los primeros 15 días de iniciado el experimento (Tabla 1). En este tratamiento se mantuvieron todo el tiempo condiciones ambientales y nutricionales propicias, lo cual se vio reflejado muy claramente en las gráficas de mortalidad (Figura 6). Sus cifras en ningún momento son superiores al 20%.



**Figura 6.** Porcentaje de mortalidad de los alevinos de bocachico (*P. magdalenae*) en los diferentes tratamientos durante el experimento. Los valores provienen de cada uno de los originales con sus respectivas réplicas en cada uno de los tratamientos.

### **5.1.2 TRATAMIENTO 2: Alimentación restringida**

En este tratamiento, el original y cada una de las réplicas fueron trabajados con un número total de 60 peces con una densidad promedio de 0.24 g/l, cuya talla y peso promedio fue de 26.7 mm. ( $\pm 0.15$  d.s.) y 0.16 g. ( $\pm 0.02$  d.s.) respectivamente, éstos se alimentaron por 15 días consecutivos usando un total de 11 g. de alimento. Transcurrido este tiempo, se eliminó la alimentación artificial para someter a los alevinos a alimentación restringida: cada acuario contó con una capa de gravilla dispuesta en el fondo de los mismos. Debido a la alta luminosidad natural se produjeron gran cantidad de algas y material vegetal que sirvieron como alimento temporal (no cuantificado) para los individuos de los acuarios, haciendo evidente sus hábitos limnóvoros. Aproximadamente 8 días después se mostraron los primeros signos de anormalidad: los peces, presentaron una serie de síntomas de deficiencia nutricional: cuerpo delgado, natación debilitada y color de piel oscuro.

La mortalidad en los primeros 15 días, en la que los animales están siendo alimentados no sobrepasa el 15% de los individuos de los acuarios (Figura 6), lo cual muestra gran similitud con lo observado en el tratamiento control. Entre los días 15 al 23 (días en los cuales se restringió la alimentación) los porcentajes de mortalidad no muestran grandes diferencias con respecto a los primeros 15 días. Los altos porcentajes de mortalidad comienzan aproximadamente a los 25 días donde las mortalidades aumentan de gran manera hasta involucrar al 100% de los alevinos del original y de las réplicas; la mortalidad ocurre aún después de haber iniciado la realimentación, al día 24 (Figura 6).

### **5.1.3 TRATAMIENTO 3: Tratamiento control – Alimentación constante**

En este tratamiento se mantuvo continua la disposición de alimento durante todo el estudio y los animales no mostraron alteraciones de ningún tipo, tampoco síntomas o anomalías en su fisiología, ni comportamiento general al igual que el tratamiento 1. Cada grupo (original y las 5 réplicas) contó con un número total 45 alevinos de bocachico, con una densidad promedio de 1.46 g/l por acuario, cuya talla y peso promedio de los individuos fueron de 38.0mm. y 1.3g respectivamente, siendo estos de mayor tamaño que los utilizados para los tratamientos 1 y 2. También se observó un peso final promedio de 1.59 g reflejándose en una biomasa de 71.5 g en los primeros 15 días de haber iniciado el experimento (Tabla 1); este aumento en el peso de los

individuos siguió en la misma proporción durante el experimento, de la misma manera como se observó en el tratamiento 1. La mortalidad es baja, alcanzando el 20% de los individuos.

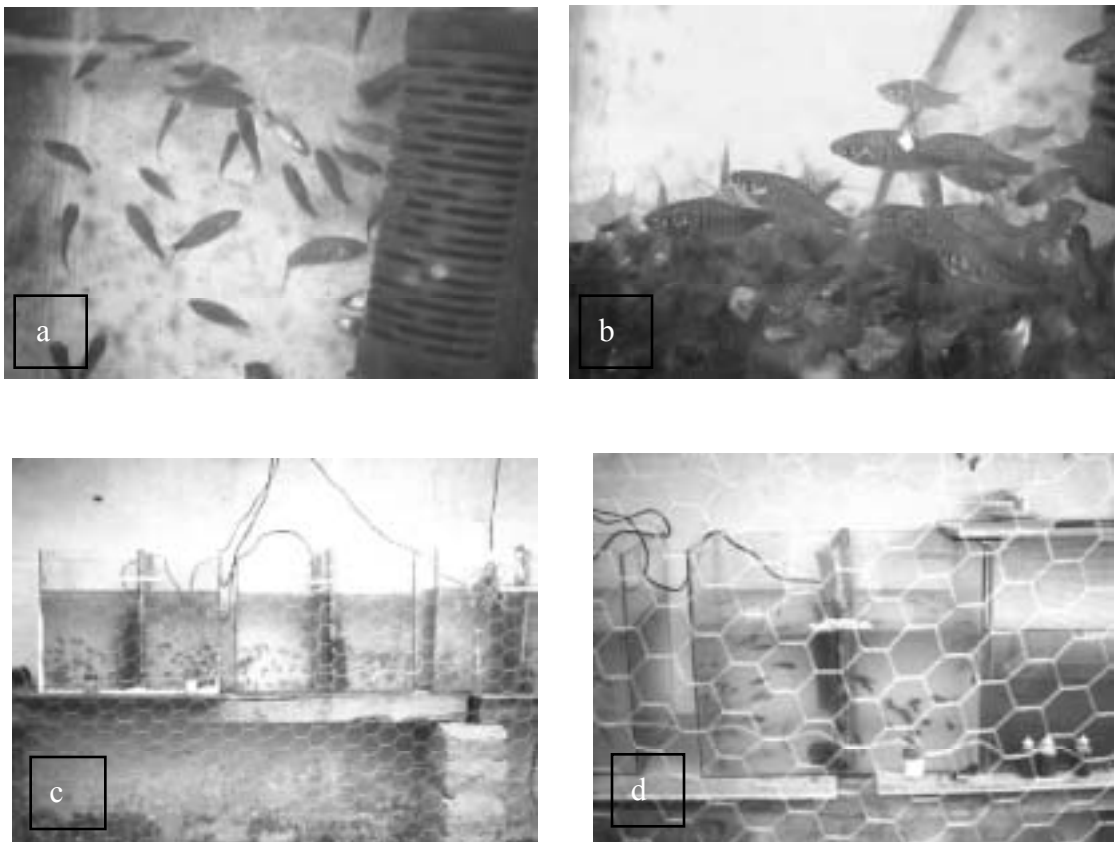
#### **5.1.4 TRATAMIENTO 4: Ayuno total**

En este tratamiento, el original y las réplicas fueron trabajados con un número total 45 alevinos de bocachico, con una densidad promedio de 1.46 g/l por acuario, cuya talla y peso promedio de los individuos fueron de 38.0mm. y 1.3g respectivamente, siendo estos de mayor tamaño que los utilizados en el tratamiento 2. Estos alevinos se alimentaron por 15 días consecutivos con una cantidad de 15 g. de alimento (un gramo al día distribuidos en 5 comidas diarias). Transcurridos los 15 primeros días, los alevinos se sometieron a ayuno estricto. A diferencia del tratamiento 2, estos individuos mostraron síntomas de anormalidad o patología más rápidamente después de 3 días de haberse expuesto al ayuno. En este tiempo los alevinos lucían una apariencia muy delgada (“fenómeno cabeza de alfiler” explicado más adelante) y se alcanzaron a denotar los primeros puntos blancos en la parte posterior de la cabeza. A los 5 días de ayuno se llevó a cabo la realimentación sin observarse un efecto compensatorio de crecimiento, pues los animales mostraron una sintomatología debida a la desnutrición y se manifestó como consecuencia, la perdida de la mayoría de los peces (90%) antes del día 30. En los días anteriores y posteriores a reanudar la alimentación, los alevinos tomaron una coloración grisácea muy oscura, su aspecto delgado era se mas pronunciado a medida que transcurría el tiempo, por consiguiente mostraban una evidente disminución de su peso corporal (Tabla 1), a pesar de su grave estado de inanición no mostraban apetito a la hora de reanudar la alimentación, además de mostrar un nadado muy débil.

En este tratamiento, los resultados son muy similares con los obtenidos por mortalidad en el tratamiento de alimentación restringida, diferenciándose en que la mortalidad fue más rápida, como resultado del ayuno total al que fueron sometidos los alevinos de este tratamiento. En los primeros 15 días, se observa una baja mortalidad aunque relativamente más alta comparada con la del primer ensayo (15% mayor). En el segundo periodo de tiempo (día 11 al 20) las mortalidades se mantienen estables aunque los alevinos ya se encuentran afectados por el ayuno. En este ensayo, los altos porcentajes de mortalidad se comienzan a observar a partir del día 21 a

pesar que ya habían sido realimentados, acabando con la población total de los acuarios al día 29 del experimento.

En la figura 6, también se observa el aumento en el porcentaje de mortalidad después del día 20 al igual que en el tratamiento 2, llegando a su totalidad en el último periodo que transcurre desde el día 21 al 30 dándose por finalizado el experimento.



**Figura 7.** Disposición de los tratamientos; a y b) Tratamientos 1 y 2, c y d) tratamientos 3 y 4.

El análisis estadístico sobre los datos de mortalidad en los diferentes tratamientos mostró que no presentaron normalidad, pudiéndose demostrar con un  $P < 0.05$  que los datos no son paramétricos, por consiguiente se realizó la prueba de Kruskal – Wallis que mostró que a pesar de que en los tratamientos 1 y 3 las mortalidades fueron mucho más bajas con respecto a los tratamientos 2 y 4, no presentan diferencias entre ellos ( $P = 0.122$ ,  $P > 0.05$ ). Con respecto al tiempo en que



transcurre el experimento (día 10, 20, 30 y 40, figura 6) si se muestran diferencias altamente significativas en los porcentajes de mortalidad ( $P = 0.035$ ,  $P < 0.05$ ). Debido a esto último, se realizó la prueba de Tukey, la cual corroboró que las diferencias más marcadas se encontraron transcurridos los primeros 20 días del ensayo ya que la mortalidad en los tratamientos 2 y 4 se dispara a partir de este día hasta terminar con el 100% de los individuos de éstos tratamientos. A pesar que después de transcurridos éstos 20 días ya se había llevado a cabo la realimentación en los tratamientos 2 y 4, el estado de los alevinos ya era crítico, lo cual quiere decir que los alevinos alcanzaron a ingerir el alimento pero no mostraron mejora alguna en sus síntomas externos como el color de piel, debilidad al nadar y producción de mucus por parte de piel y branquias.

Estadísticamente, las ECA de los tratamientos no muestran diferencias ( $P > 0.05$ ) entre ellas; muy diferente a los resultados obtenidos de las TCE las cuales muestran diferencias altamente significativas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos 1 y 2 en los cuales se observan resultados muy altos comparados a los resultados de los tratamientos 3 y 4 manteniéndose estos últimos muy bajos (Tabla 1).

**TABLA 1.** Resumen de los pesos promedio, tasa de crecimiento específico (TCE), eficiencia de la conversión alimenticia(ECA) y biomasa de todos los tratamientos de cultivo de alevinos de bocachico (*P. magdalenae*).

TRAT.	$W_i$	$W_f$	$W_F$	TCE <sub>i</sub>	ECA <sub>i</sub>	TCE <sub>f</sub>	ECA <sub>f</sub>	BIOMASA A (grs)		
	(grs)	(grs)	(grs)					$W_i$	$W_f$	$W_F$
1	0.15	0.66	*	10.26	4.55	*	*	9.40	39.6	*
2	0.16	0.62	*	9.63	4.15	*	*	9.60	37.0	*
3	1.27	1.59	1.66	1.47	2.10	0.70	1.17	57.4	71.5	74.7
4	1.28	1.55	1.49	1.29	1.87	- 1.57	- 13.8	57.5	69.8	63.6

$W_f$  y  $W_F$  corresponde al peso final del individuo por fase,  $W_i$  corresponde al peso inicial del individuo por cada fase. TCE<sub>i</sub>: Tasa de crecimiento específico entre  $W_f$  y  $W_i$ ; ECA<sub>i</sub>: Eficiencia de conversión alimenticia entre  $W_f$  y  $W_i$ ; TCE<sub>f</sub>: Tasa de crecimiento específico entre  $W_F$  y  $W_f$ ; ECA<sub>f</sub>: eficiencia de conversión alimenticia entre  $W_F$  y  $W_f$ . \* corresponde a datos no obtenidos debido a que el experimento no se continuó por la muerte de los alevinos.

## 5.2.1 DATOS FISICOQUIMICOS

### 5.2.1.1 Oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>)

Los valores de oxígeno disuelto fueron homogéneos para todos los tratamientos y se mantuvieron en un promedio de 5.7 p.p.m. con una desviación de  $\pm 0.21$ . No se observan diferencias entre los valores de las muestras tomadas, lo cual se demuestra de forma estadística con el ANOVA, entre los cuatro tratamientos. Tampoco hay diferencias entre los valores de las muestras según el día de muestreo ( $P > 0.05$ ).



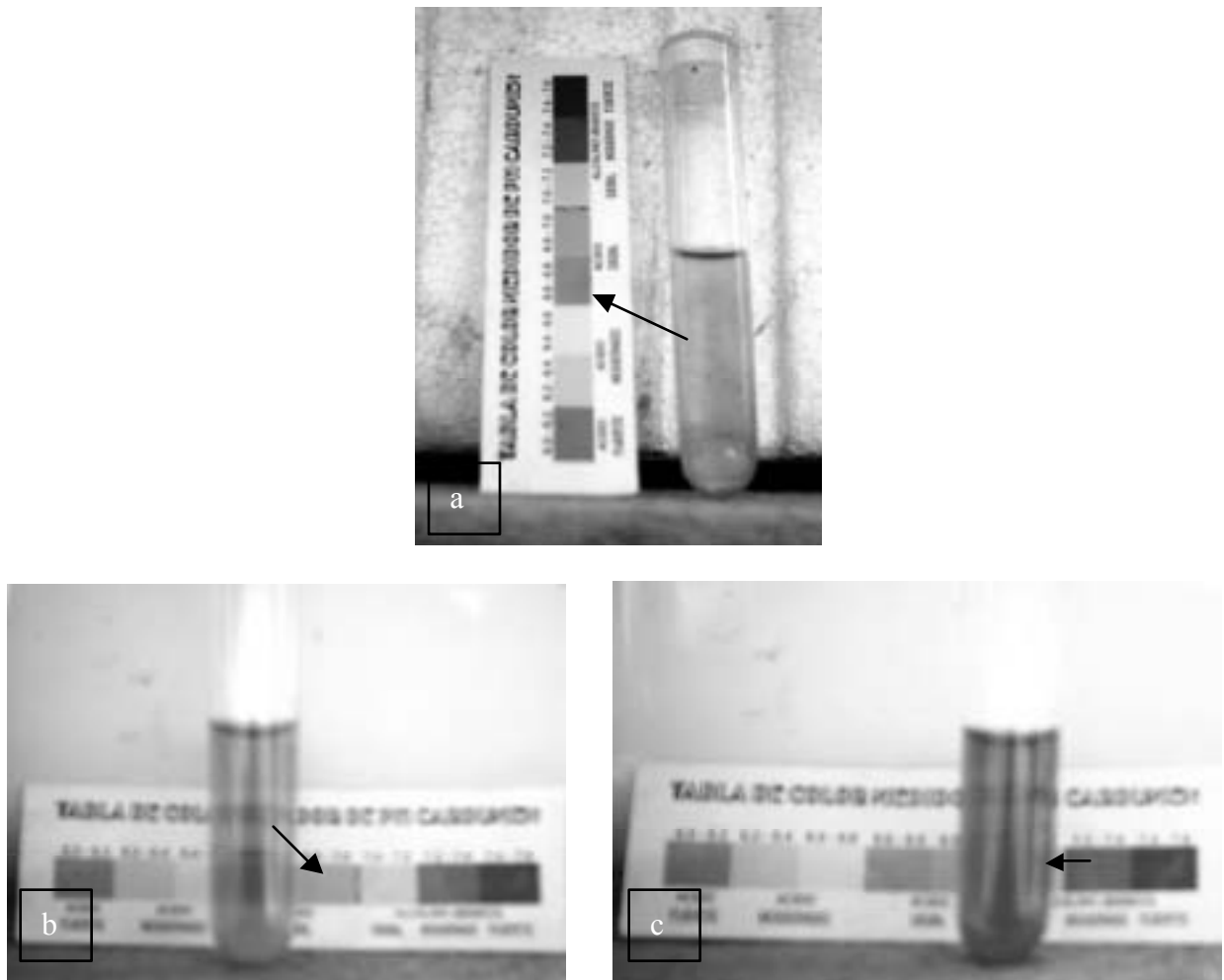
**Figura 8.** Medidor digital de oxígeno disuelto (Oxímetro) y temperatura (T°) marca HANNA INSTRUMENTS ref. HI 9143.

### 5.2.1.2 Temperatura (T°)

Los datos de temperatura registrados en los tratamientos mostraron un valor cercano a los 25 °C. Durante la duración total del ensayo, se tiene un promedio de 25.13°C con una variación de  $\pm 1.08$ .

### 5.2.1.3 pH

A pesar de que el análisis estadístico muestra diferencias entre el pH de los acuarios (ANOVA,  $P < 0.05$ ), no hay diferencias marcadas entre los datos de pH por fechas (cada tres días, ANOVA,  $P > 0.05$ ). Los promedios se mantuvieron muy similares en el transcurso del trabajo (7.17 unidades de pH) mostrando una ligera variación de  $\pm 0.015$ .



**Figura 9.** Toma de muestras de pH. Prueba colorimétrica marca MYDOR™. a) Color que indica un pH de 6.8 b) Color que indica un pH de 7.0 c) Color que indica un pH de 7.2.

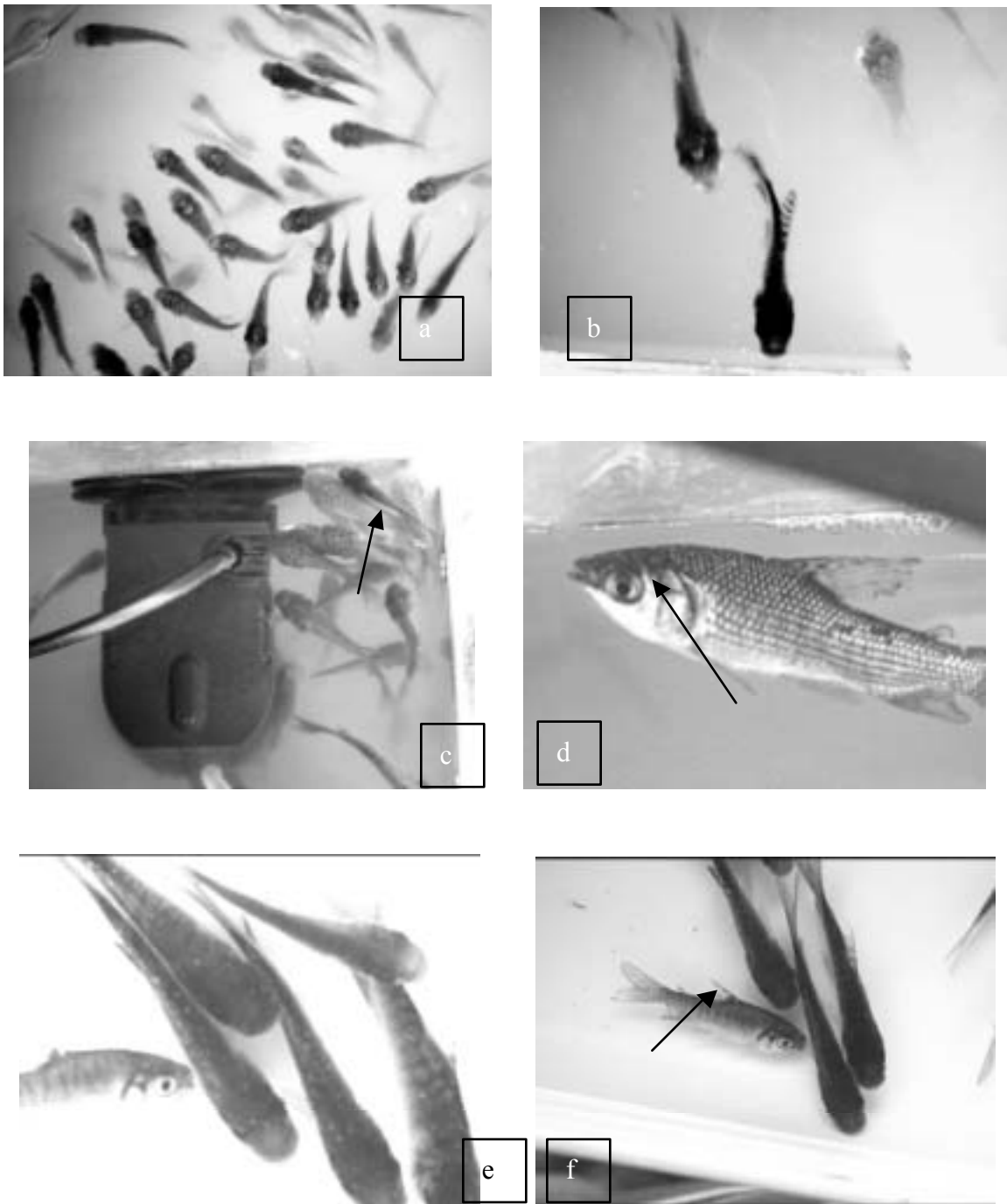
### 5.2.1.4 Nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>)

Se observan niveles muy altos de nitrógeno amoniacal que va desde 1 p.p.m hasta 4 p.p.m con una desviación de  $\pm 0.35$ . Teniendo en cuenta la estadística, el ANOVA nos indica que hay diferencias no solo entre los tratamientos sino también se encuentran diferencias en las muestras tomadas en las diferentes fechas ( $P < 0.05$ ).



**Figura 10.** Toma de muestras de nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub>). Prueba calorimétrica para acuarios marca CARDUMENPH-TEST.  
a) Color que indica 0.5 ppm b) Color que indica 1.00 ppm c) Color que indica 4.00 ppm

### 5.3 ATAQUE DE LA ENFERMEDAD



**Figura 11.** Sintomatología de la enfermedad. a) Los alevinos ascienden a la superficie dando la impresión de necesidad de alimento o de deficiencia de oxígeno, b) Fenómeno “Cabeza de alfiler”, c) A los pocos días de haber suspendido la alimentación, se observa alevinos de color oscuro, d, e y f) síntoma más representativo, puntos blancos sobre la cabeza y parte dorsal de los alevinos, f) Aleta dorsal afectada por la enfermedad.

### **5.3.1 Sintomatología**

Durante los primeros tres o cuatro días de haber suspendido la alimentación los alevinos presentan síntomas normales, aunque se empieza a observar un descenso en el crecimiento de los animales. Después de los primeros siete u ocho días se observa el primer síntoma de la enfermedad de los alevinos, mostrando que los individuos ascienden a la superficie dando la impresión de necesidad de alimento o de deficiencia de oxígeno. Su cuerpo está comprimido, mostrando un adelgazamiento muy rápido, ya que sólo ha pasado muy poco tiempo de haber suspendido la alimentación: cada individuo muestra un fenómeno conocido como “cuerpo de alfiler” (Roberts, 2001), en el que los alevinos se observan desproporcionados, con un cuerpo muy delgado en tanto que la cabeza conserva su tamaño normal. Además, los alevinos presentan oscurecimiento de la piel.

Al sexto día de ayuno comienzan a aparecer pequeños puntos blancos en la cabeza, en aproximadamente el 10% de la población y se comprueba la presencia de patología. Rápidamente estos puntos se propagan tanto en el cuerpo del individuo, como en la población, que se ve afectada por el avance en el ataque de la enfermedad. Al séptimo u octavo día ya se han contagiado el 70% de los alevinos, viéndose afectada gran parte de la población. La aparición de la sintomatología se dio por igual, con dos días de diferencia en los tratamientos de Alimentación restringida y de Ayuno.

Hacia el octavo día de la enfermedad hay una baja mortalidad (el 10 % de los individuos) la cual empieza a aumentar notoriamente a partir de este día; anterior a este punto se observaban de 4 a 8 individuos muertos, pero estas mortalidades ascendieron rápidamente hasta encontrar de 30 a 40 individuos muertos por día (90% de la población del acuario).

Al décimo día post-ayuno, la enfermedad ya se encuentra totalmente propagada. Esta se inicia atacando la cabeza del animal y va colonizando parte del dorso y las aletas dorsales hasta llegar a la aleta caudal siendo este punto crítico para el individuo enfermo. La parte más grave de la enfermedad, es el momento en que el patógeno coloniza las branquias, lo cual se aprecia por la presencia un manto de apariencia algodonosa alrededor y sobre ellas, dando la impresión de que

el patógeno podría tratarse de un hongo ya que este síntoma es muy característico de un ataque de tipo fúngico.

En su agonía, el individuo presenta levantamiento de escamas y necrosis cutánea, notándose esto a simple vista ya que la piel se torna de un color amarillento, no característico de la especie, y las branquias muestran la presencia de hemorragias, llegando el momento de la muerte de la mayoría de los individuos del tratamiento que han sobrevivido hasta este período.

El ataque del patógeno no se presenta en bloque, no ataca a toda la población simultáneamente, sino que ataca al principio a los mas débiles y pequeños y poco a poco empieza a difundirse a los otros alevinos del acuario; por esta razón las mortalidades son también escalonadas, aunque aumentan en número a medida que avanzan los días y los síntomas, hasta llegar al punto en que aparecen muertos los últimos individuos del tratamiento.

Debido a la imposibilidad de seguir con el experimento, se tomaron diez alevinos que a simple vista no presentaban síntomas de la enfermedad, se aislaron en un nuevo acuario desinfectado, con buena aireación y con alimento, pero a pesar de las óptimas condiciones (biológicas y ambientales) en las que se dispusieron, estos animales al poco tiempo empezaron a mostrar exactamente los mismos síntomas mencionados anteriormente, lo que hizo pensar que estos individuos asintomáticos externamente, ya presentaban la contaminación parasitaria en su organismo.

Esta sintomatología se repite de igual manera en el tratamiento 4 diferenciándose en el tiempo en que transcurre la enfermedad. En el tratamiento 4 los síntomas aparecen más rápido debido a que los alevinos estaban expuestos a un ayuno total a diferencia del tratamiento 2 en el cual había productividad primaria disponible como alimento.

## **5.3.2 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS HISTO-PATOLÓGICOS**

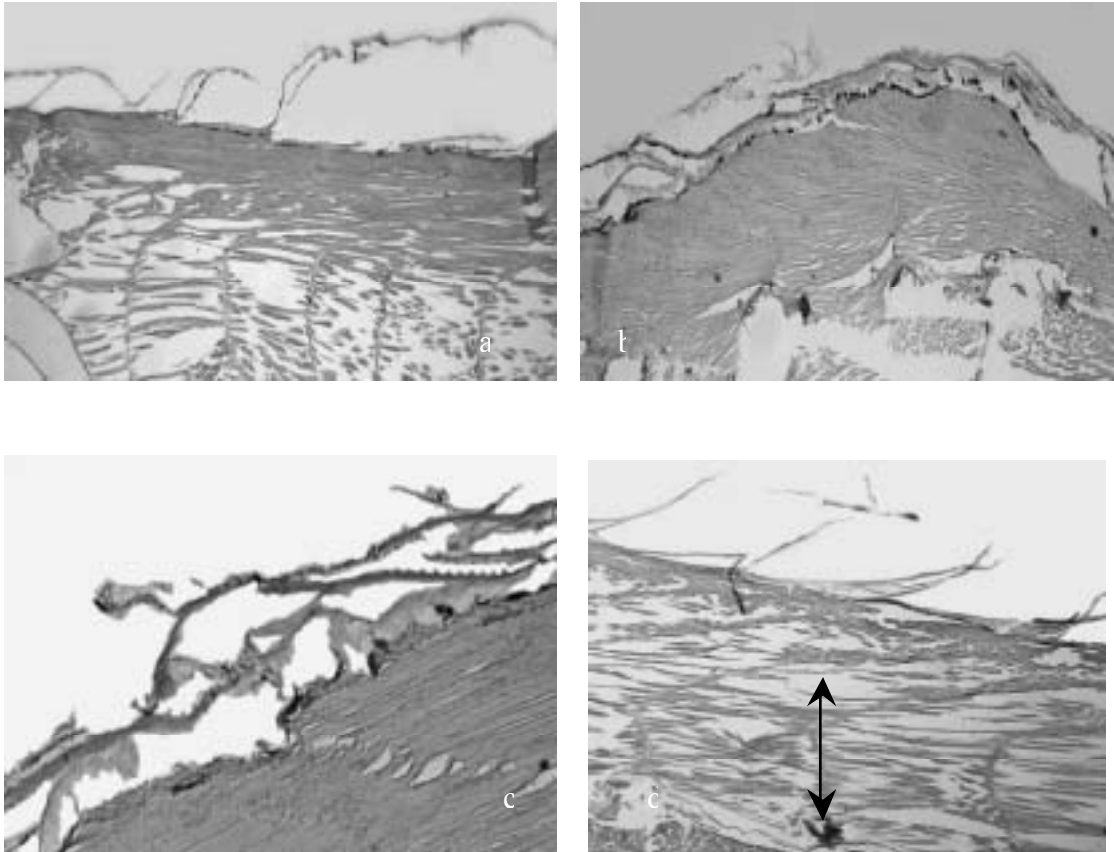
### **5.3.2.1 Patología por ayuno**

Con respecto al ayuno estricto al cual fueron sometidos los alevinos de bocachico (Tratamiento 4), también se observaron una serie de patologías internas en los órganos y tejidos, mostrándose principalmente en el tubo digestivo. Comparando el tubo digestivo de un individuo alimentado y otro en ayuno (Figura 14), se pueden observar cambios notables tales como la desintegración de las crestas digestivas y la disminución del epitelio que recubre la luz del tubo digestivo. El músculo que rodea el tubo digestivo también sufre cambios en su estructura ya que pierde su elasticidad por la contracción y desordenamiento de sus fibras.

### **5.3.2.2 Patología por protozooario**

A nivel macroscópico se pueden observar algunos síntomas y daños causados tanto por la enfermedad como por el ayuno al cual se sometieron los bocachicos y lo mismo sucede en sus tejidos en los que se observan una serie patologías muy consecuentes con los estímulos ya mencionados a los cuales fueron expuestos los alevinos. En la figura 15 se observan cortes histológicos y en ellos, el agente patógeno, de forma redondeada, con un núcleo grande en forma de frijol o redondo según el área de corte. El microorganismo se ha visto alojado en una zona bajo el epitelio de la superficie, en la piel o en las laminillas branquiales. Así pues se afirma que los alevinos sufrieron un ataque que por la forma de actuar con respecto al hospedero, es de un agente de tipo ectoparasitario.

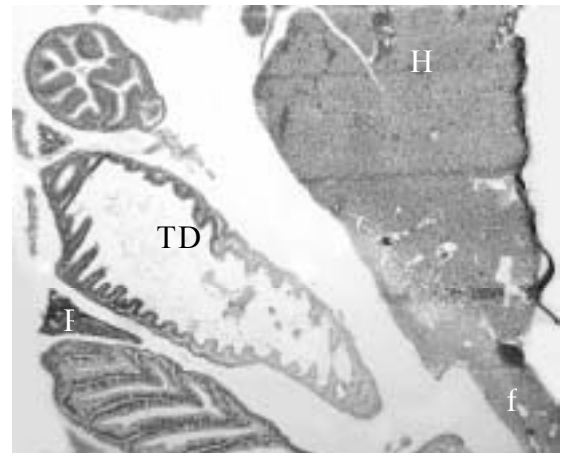
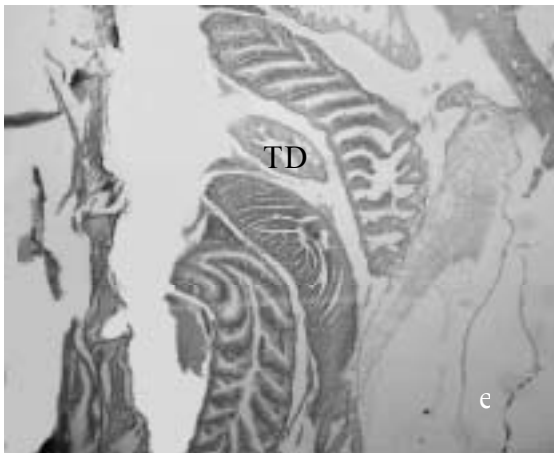
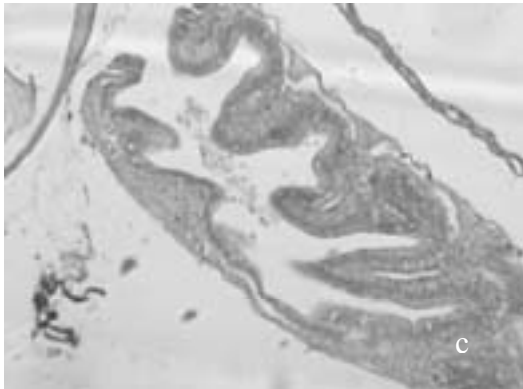
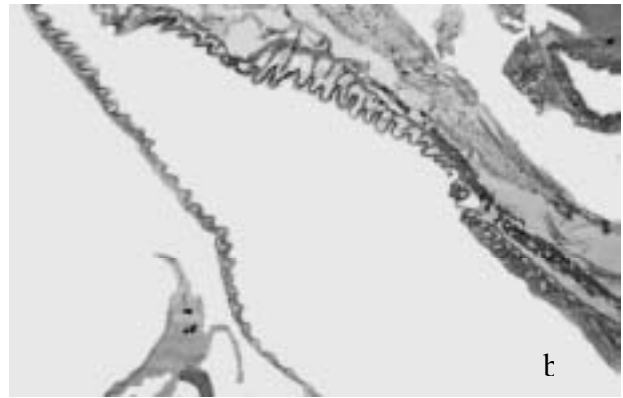
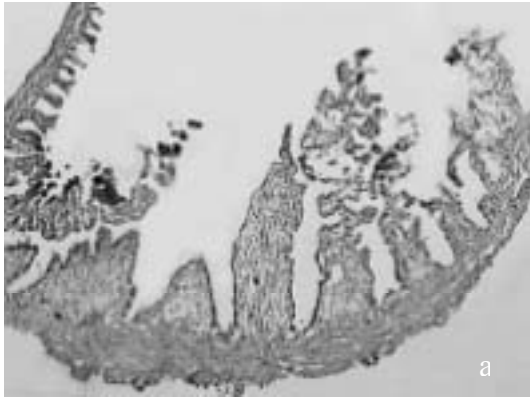


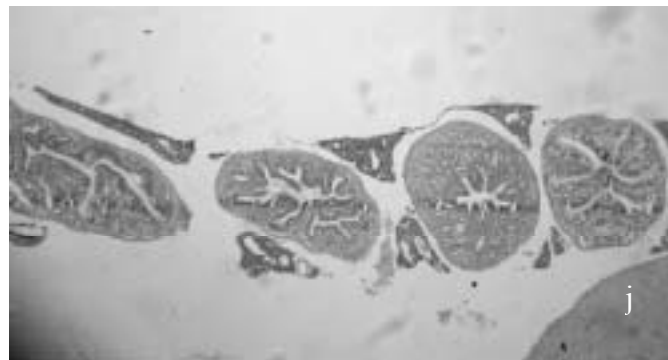
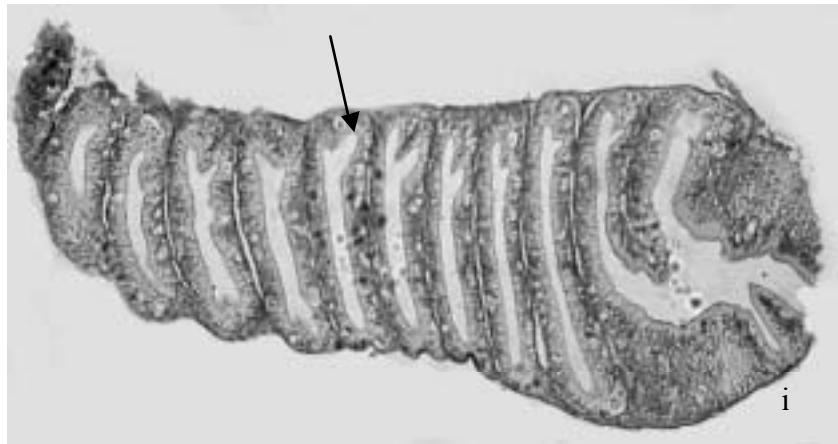
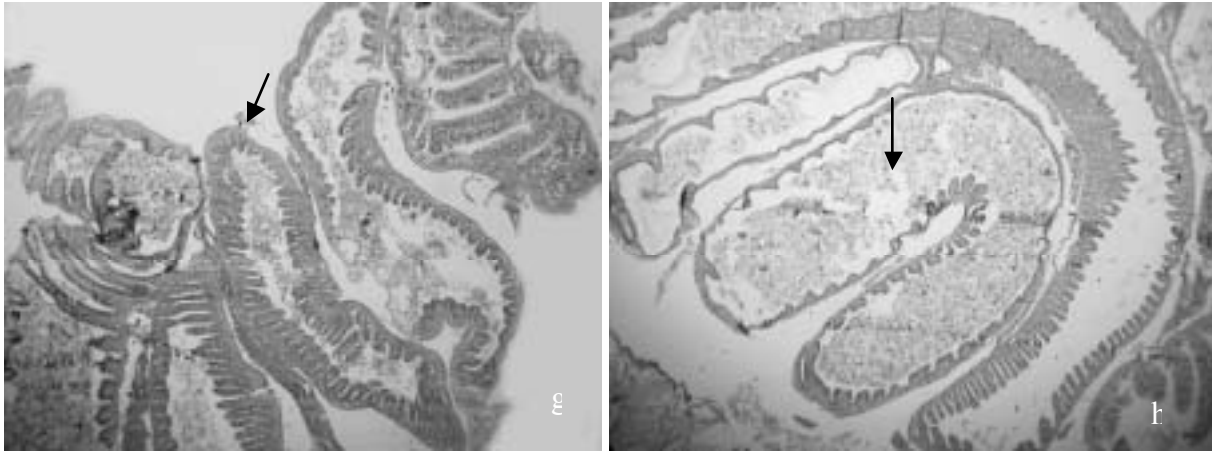


**Figura. 12.** Fotografías de cortes histológicos de la piel de los alevinos de bocachico (*Prochilodus sp.*); Se observa un adelgazamiento y desprendimiento de las diferentes capas de la piel provocando necrosis celular (a, b y c) (x 5X). También se puede observar el cambio en la fisiología del músculo subcutáneo, mostrándose una respuesta de tipo inflamatoria en sus fibras llevándose a cabo una separación y formación de espacios intercelulares llegando a una distrofia muscular por deficiencia alimenticia (flecha) (d) (x 5X).

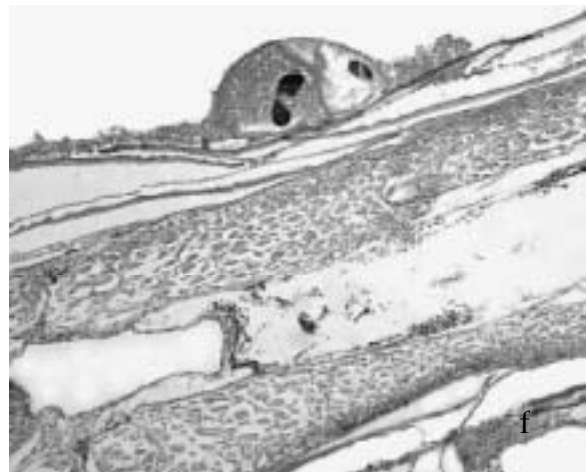
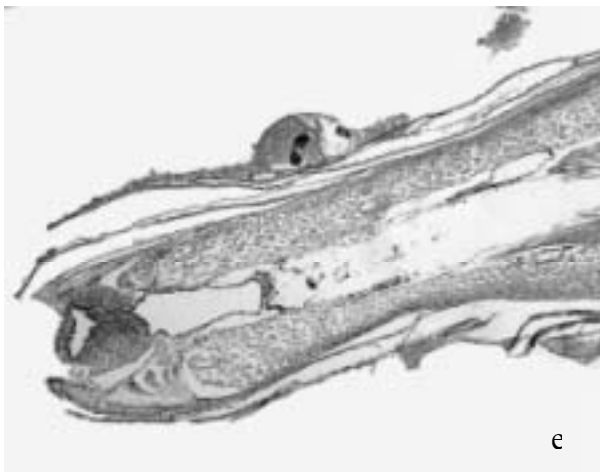
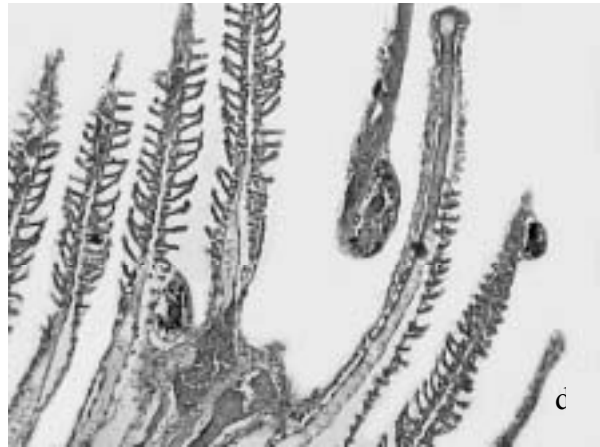
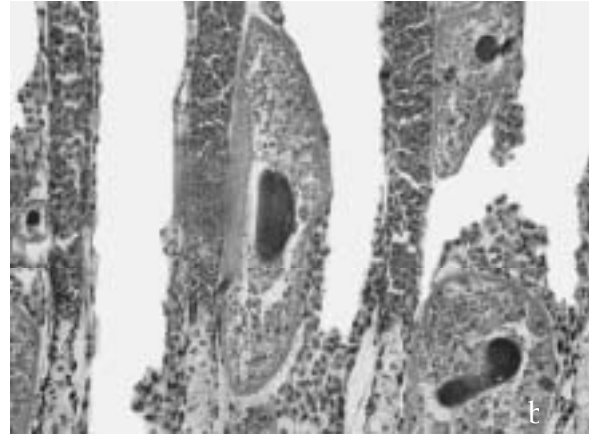
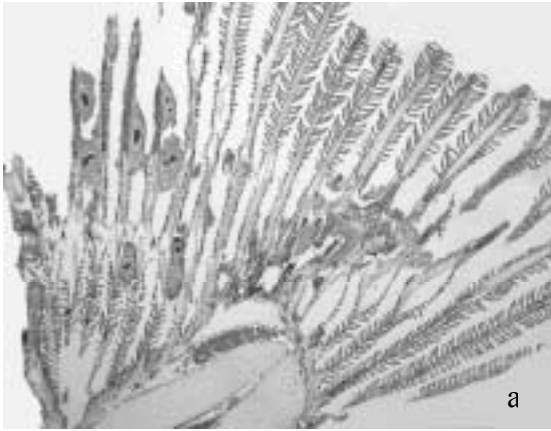
**Tabla 2. Comparación histológica de piel y branquias en los animales normales y los sometidos a estrés por ayuno.**

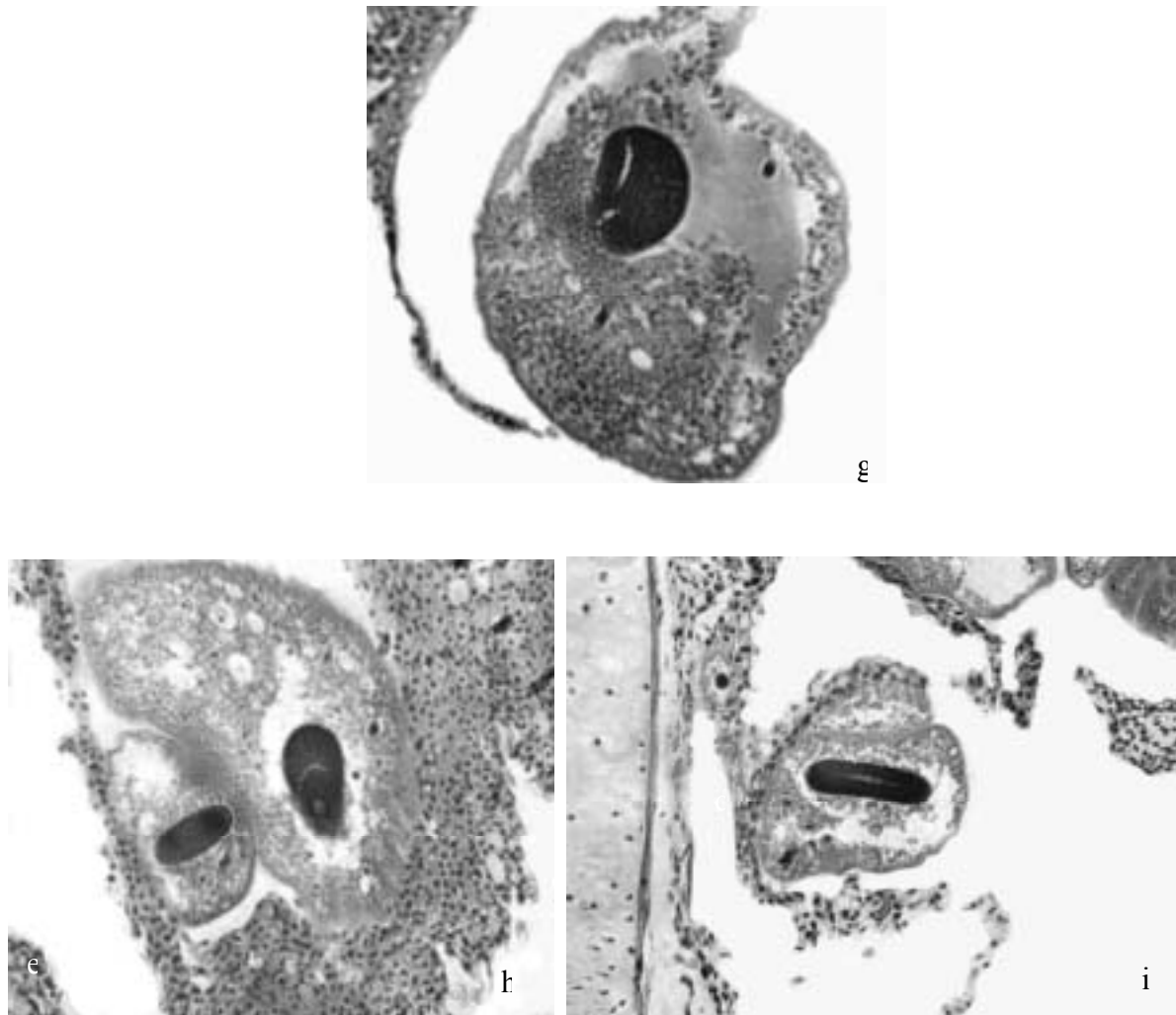
<b>HISTOLOGIA DEL ORGANO</b>	<b>HISTOPATOLOGIA DEL ORGANO AFECTADO</b>
<b>PIEL</b>	<b>PIEL</b>
<p>La piel de un alevino de bocachico sano está compuesta de dos capas: epidermis externa y dermis subyacente. La epidermis se divide en una capa externa constituida por células epiteliales escamosas estratificadas y una capa basal de células germinales indiferenciadas. Las escamas se proyectan en la epidermis. La dermis se compone de tejido conectivo: <i>estratum compactum</i>, matriz de colágeno densa y un estrato esponjoso además de una red del colágeno y de fibras de reticulina; además presenta células de pigmento o cromatóforos.</p> <p>El músculo presenta fibras delgadas, bien organizadas y paralelas a lo largo de todo el tejido epidérmico, sin espacios intercelulares (Figura 12a).</p>	<p>Se observa desprendimiento de las diferentes capas de la piel incluyendo las escamas y desordenamiento en las diferentes capas epidérmicas.</p> <p>Hay respuesta inflamatoria en el músculo subcutáneo. Se ve desordenamiento de las fibras con respecto a las demás capas epidérmicas y se muestra una apariencia altamente desordenada con grandes espacios intercelulares entre ellas.</p> <p>En la figura 15 (a y b) es notoria la presencia del parásito que se adhiere al epitelio de la epidermis.</p> <p>Macroscópicamente, el alevino toma una coloración oscura la cual va asociada al mal proceso osmorregulatorio que están llevando a cabo las branquias debido a la infección del parásito (Figura 11b).</p>
<b>BRANQUIAS</b>	<b>BRANQUIAS</b>
<p>Se observa la estructura branquial compuesta por un filamento rígido debido al cartílago que le da soporte. Las columnas de filamentos se denominan lamelas primarias, cuya superficie de área se incrementa debido a las laminillas secundarias, ricas en eritrocitos y en donde se efectúa el intercambio gaseoso. Estas se circunscriben por células epiteliales bordeadas por células pilares.</p> <p>Bordeando la mucosa branquial (a la altura de las lamelas) se observa claramente un epitelio estratificado plano en el cual se encuentran también células secretoras de mucus dispersas en el mismo (Figura 13).</p>	<p>En este órgano es muy notorio el ataque del patógeno el cual se ubica sobre el epitelio de las lamelas tanto primarias como secundarias.</p> <p>En la figura 15 (g, j, k, l, n y o) se observa el parásito alojado en las branquias. Hay un marcado cambio en la estructura branquial debido a la deformación y unión de las laminillas llevándose a cabo una hiperplasia epitelial como signo clínico, lo cual dificulta la realización de su función osmoregulatoria normal.</p> <p>Hay gran cantidad de células productoras de mucus ubicadas en las lamelas de la mucosa respiratoria asociadas al epitelio de la misma, gracias a las cuales se como su nombre lo dice, su función principal es la segregación de mucus en este órgano por la infección la cual se observa a nivel macro en la superficie de los acuarios.</p>





**Figura. 13.** Fotografías de cortes histológicos del tubo digestivo de los alevinos de bocachico. Se observa el daño degenerativo llevado a cabo en el tubo digestivo (estómago e intestino). (a y b) Se observa una deformación y posterior degeneración de la mucosa gástrica del estómago, además de una disminución de las fibras musculares y conectivas (→) (x 5X). (c, d, e y f) Primeros días de ayuno total, disminución de la mucosa gástrica en intestino (→) (x 5X). (f) La figura muestra secciones del tubo digestivo (TD), páncreas (P) y también se observa el hígado (H) (x 5X). (g y h) Cortes histológicos intestinales de organismos realimentados, se observa claramente la nueva formación y prolongación de la mucosa gástrica (→) para que se lleve a cabo absorción de alimento, nótese el lumen lleno de este (x 5X). (i y j) secciones de los intestinos en buen estado empezando la fase de ayuno (x 5X).





**Figura. 14.** Fotografías de *Ichthyophirius sp.* Parásito ciliado, Se observa el parásito alojado bajo el epitelio de la superficie de la piel (fig. a, b, c, d, e y f) o en las laminillas branquiales (fig. g, h, i, j, k, l, n y o).

**Tabla 3. Comparación histológica del tubo digestivo en animales alimentados y en los sometidos a estrés por ayuno.**

TUBO DIGESTIVO	TUBO DIGESTIVO
<p>El tracto digestivo del bocachico es igual en todos los teleósteos. Se divide en tres partes que son el esófago, el estomago y el intestino. Estas tres partes presentan una organización muy similar.</p> <p>El esófago se divide en dos regiones, la anterior y la posterior, la primera presenta un epitelio columnar pseudoestratificado bordeándola y la última presenta un epitelio columnar simple con abundantes células secretoras (células goblet). La submucosa está compuesta de tejido conjuntivo y músculo.</p> <p>La mucosa de la región no glandular del estomago está delineada por un epitelio cilíndrico simple con ondulaciones mas marcadas y con dos capas mas de músculo y tejido conjuntivo. El estómago glandular esta compuesto por glándulas gástricas multicelulares tubulares.</p> <p>El intestino tiene la misma estructura histológica en toda su longitud, con la excepción del tamaño de la mucosa y la cantidad de pliegues de la misma aumentando a través de él. El intestino está bordeado por un epitelio columnar simple con células <i>goblet</i> dispersas rodeadas por la túnica muscular.</p> <p>Los enterocitos se encuentran ubicados más visiblemente en la parte intermedia y posterior del intestino debido al gran tamaño de sus vacuolas.</p>	<p>En el tubo digestivo se observa el cambio de tipo degenerativo sufrido en la mucosa que lo reviste, estos cambios no se consideran una alteración patológica sino que son variaciones normales causadas por el ayuno.</p> <p>La mucosa que reviste su esófago, el estómago y el intestino, sufrió cambios degenerativos: Las vellosidades de las células de la mucosa de las tres partes que conforman el intestino (esófago, estomago e intestino) se degeneraron a medida que avanzó este periodo: al disminuir la cantidad de alimento se disminuyó la superficie de absorción, de la misma manera se disminuyeron en tamaño y número las células secretoras de mucus a lo largo del tubo digestivo.</p> <p>En las figura 14 (b y h) se observa el aplanamiento de los pliegues o vellosidades y la disminución del epitelio expuesto a la luz del tubo digestivo. Hay una marcada disminución del grosor de la mucosa a través de toda la trayectoria del tubo digestivo empezando por el esófago y llegando hasta la parte posterior del intestino.</p> <p>Se observa la disminución de las fibras musculares y conectivas a lo largo del estomago e intestino (figura 14) y una separación y deformación de las mismas notándose claramente los espacios intercelulares entre éstas.</p>

## 6. DISCUSION.

Los alevinos de los tratamientos 1 y 2, fueron de menor tamaño que los alevinos usados para los tratamientos 3 y 4 y como es conocido en acuicultura, la curva de crecimiento en los peces aumenta mas rápidamente en los estados juveniles, por consiguiente, los alevinos de los tratamientos 1 y 2 presentaron TCE y ECA mucho mayores en los días en que fueron alimentados constantemente y a esto se sumó la abundancia de material vegetal que se generó y que se encontraba a disposición de los peces de estos dos tratamientos. Las notables diferencias de peso entre los tratamientos 1 y 2 y los tratamientos 2 y 3 sumado a la alimentación natural que se generó en los dos primeros tratamientos, pudieron influir de gran forma en las diferencias presentadas entre la tasa de crecimiento específica (TCE) y la eficiencia de conversión alimenticia (ECA) las cuales son evidentes en la tabla 1.

Debido a la muerte de los alevinos del tratamiento 2, no se continuó el experimento en los dos tratamientos iniciales (1 y 2), por lo tanto, no se obtuvieron datos de tipo biométrico después de los primeros 15 días cuando se eliminó la alimentación de éste tratamiento. Durante los primeros 15 días del experimento, en los tratamientos 3 y 4 los valores de la TCE y la ECA son similares debido a la constante alimentación (Tabla 1), posteriormente, se muestran muy diferentes en el momento en que se cambian las condiciones de alimentación en el tratamiento sometido a ayuno, observándose los valores de la  $TCE_f$  y los de la  $ECA_f$  negativos en este tratamiento. Los resultados obtenidos se han presentado en ensayos de crecimiento compensatorio realizados en otras especies tales como en trucha marrón, *Salmo trutta*, (Pirhonen *et al.*, 1997), la tilapia nilótica, *Oreochromis niloticus* (Barreto *et al.*, 2003; Moreno *et al.*, 2000), el pacú, *Piaractus mesopotamicus* (INICNE Y UNNE, s.f.), el tambaqui, *Colossoma macropomum* (Rabello *et al.*, 2004), la anguila europea, *Anguilla anguilla* (Rodríguez *et al.*, 2005), entre otros. Los tratamientos control (T1 y T3) mantiene su aumento de peso a través del tiempo, mientras que los tratamientos de alimentación restringida (T2) y ayuno total (T4) muestran un fuerte descenso en su crecimiento. A diferencia de los estudios mencionados, en el momento de empezar la realimentación, en este ensayo no se logró la compensación de crecimiento esperada, por el contrario, los alevinos se mostraron mas débiles y a pesar que los alevinos intentaron ingerir el alimento, estos no mostraron progreso alguno en su crecimiento. Se observa que al igual que en



las otras especies, la restricción alimenticia y el ayuno afecta el crecimiento del pez (TCE) y disminuye la eficiencia de conversión alimenticia (ECA).

Con respecto a la tasa de mortalidad presentada por los alevinos de los controles, se mantiene un bajo grado de mortalidad siendo en este caso la mortalidad similar a otros estudios con bocachicos mantenidos en condiciones óptimas de cautiverio (González *et al.* 1981, Rojas 1981, Quintero *et al.* 1993, Hernández 2001, Becerra, 2001 y González 2003).

Los resultados de los ensayos nos indican que los alevinos de bocachico mostraron complicaciones de tipo nutricional y parasitario debido a las condiciones de mala alimentación a las cuales fueron sometidos. En el tratamiento 2 (Alimentación - Alimentación restringida – Re-alimentación), la grava dispuesta en el fondo de los acuarios en todos los tratamientos, sumado a la alta luminosidad, sirvió como medio para que se llevara a cabo la proliferación de algas y material vegetal el cual es aprovechado por los individuos como alimento, transcurridos los primeros quince días del mismo. Esto conlleva a una razonable adecuación del medio en la parte nutricional haciendo que éstos alevinos vivieran más tiempo con respecto a los del tratamiento 4 (Alimentación – Ayuno – Re-alimentación), cuyo deceso se produjo más rápidamente.

En los primeros 20 días, las mortalidades de los tratamientos 2 y 4 se mostraron estables y relativamente bajas debido a que en los cuatro tratamientos las condiciones ambientales y nutricionales fueron óptimas. Los altos porcentajes de mortalidad comienzan aproximadamente a los 25 a 30 días, días en los cuales ya se llevó a cabo la re-alimentación siendo estos superiores al 25% en los tratamientos 2 y 4. En el tratamiento 2, el aumento en la mortalidad se presenta de forma más tardía con respecto al tratamiento 4 debido al alimento natural, esto confirma que la restricción alimenticia y el ayuno actúan de igual manera como agente estresante creando una serie de reacciones de tipo patológico y fisiológico (Mancera & del Río 2000 y Ocampo & Ocampo, 1999). Según McGurk (1986) y Sogard (1997). La tasa de mortalidad en sistemas acuáticos es inversamente relativa al tamaño (Ali *et al.*, 2003), los peces de talla corporal pequeña como los alevinos del experimento presentan unas reservas de energía relativamente bajas haciéndolos susceptibles a altas mortalidades si son sometidos a periodos prolongados de restricción alimenticia o ayuno tal como ha sucedido en este experimento (Ali *et al.*, 2003).

En estado de alevino en los teleósteos, debido a su tamaño, la lucha para conseguir alimento y para sobrevivir a la inanición en el medio natural es mayor que en animales más grandes y con edad más avanzada (Miller *et al.*, 1988 en Ali *et al.*, 2003). La distribución de las presas de tipo planctónica para larvas de peces es inestable tanto en tiempo como en espacio y los alevinos pueden encontrar periodos alternados de comida abundante y escasa (Mackas *et al.*, 1985; Letcher *et al.* 1996 en Ali *et al.*, 2003). Si el periodo de privación alimenticia es suficientemente largo, de 4 a 25 días, dependiendo de la especie y el tamaño del pez (Miller *et al.*, 1998 en Ali *et al.*, 2003), estos mueren como resultado al alto estado de inanición al que son sometidos tal como ocurrió en este experimento en el cual se suma las condiciones de cautividad en las que se encontraban los alevinos en el que la única fuente alimenticia es totalmente controlada por lo cual la disposición del alimento es muy escasa (T2) o completamente nula (T4).

A diferencia de los resultados observados en trabajos similares con anguila europea, y de otras especies como el tambaqui, el pacú, la tilapia nilótica, los alevinos de bocachico no se mantienen con vida sin alimentación por largos periodos de tiempo, mostrando en corto tiempo los efectos negativos en su morfología corporal, organización histológica del tubo digestivo y la musculatura lo cual conlleva rápidamente a su deceso. Observaciones externas de los individuos de los tratamientos sometidos a estrés por ayuno en este experimento muestran un rápido adelgazamiento de los mismos, observándose el fenómeno de “cabeza de alfiler” y oscurecimiento de su piel, en comparación a los individuos control que se mantienen en estado nutricional normal.

En este estudio también se observaron una serie de cambios histopatológicos a nivel de tubo digestivo y musculatura que incluyeron reducción de los enterocitos intestinales (datos no presentados), degradación de la mucosa intestinal y gástrica, degradación de las vellosidades intestinales y degeneración de la musculatura, condiciones que se han observado de la misma manera en alevinos de anguila europea (Rodríguez *et al.*, 2005), juveniles de trucha marrón (Pirhonen, *et al.*, 1997) y en la dorada, *Sparus aurata*, (Robaina *et al.*, 1997) entre otras especies que son sometidas a restricción alimenticias o a ayuno.

Durante periodos prolongados de ayuno, el glicógeno y los lípidos son utilizados como recurso inmediato de energía; el consumo de estos nutrientes llevan a una notable reducción de la energía disponible en el pez (Vigliano *et al.*, 2002). Cuando estas reservas son agotadas, los tejidos corporales son consumidos, resultando una progresiva degeneración de la mucosa del tubo digestivo y la atrofia de la musculatura como se ha reportado en anguila europea, *Anguilla anguilla*, (Rodríguez *et al.*, 2005), en el denton, *Dentex dentex*, (Suárez *et al.*, 2003; Díaz, *et al.*, 2003), en la trucha marrón, *Salmo trutta*, (Pirhonen, *et al.*, 1997), en dorada, *Sparus aurata*, (Robaina *et al.*, 1997) entre otras especies estudiadas. Estas alteraciones afectan directamente la fisiología digestiva de los peces en este caso los alevinos de bocachico, comprometiendo la capacidad digestiva de realimentación afectando de gran forma el crecimiento y sobrevivencia (Rodríguez *et al.*, 2005).

Las manifestaciones que indican un estrés nutricional son las de tipo morfológico y fisiológico sufridas a nivel interno y observable de forma histológica, como se comprobó en este estudio y como se ha observado en otras especies como en trucha marrón, *Salmo trutta*, (Pirhonen *et al.*, 1997, anguila europea, *Anguilla anguilla* (Rodríguez *et al.*, 2005), pez gato de canal (SRAC Publicación No. 189) que al igual que los alevinos de bocachico de este experimento sufren cambios y alteraciones en la composición corporal a nivel de tubo digestivo y órganos complementarios.

En el momento en que se somete a los alevinos a un completo ayuno, se está generando de forma inmediata un nivel alto de estrés debido a la ausencia de alimento disponible en el medio (Vigliano, *et al.* 2002). Este ayuno provoca cambios tanto físicos como químicos en el metabolismo y en el normal desarrollo y funcionamiento de los órganos en los individuos (Vigliano, *et al.* 2002). Debido a este agente estresante y a los cambios que provoca, se expone a los individuos a un incremento en la incidencia de enfermedades y a un bajo crecimiento debido al elevado gasto de energía (Rodríguez, 1997; Roberts, 2001). Esto se reflejó en forma muy clara en el momento en que el parásito *Icthiophthirius sp.* atacó a los alevinos generando otro agente estresante que se suma al ayuno como tal (Ocampo & Ocampo, 1999). Tanto el ayuno como el ataque del parásito generan una patología en el organismo, esto se pudo observar perfectamente

en el estudio histológico realizado sobre los individuos sanos, en ayuno y realimentados y en las altas mortalidades presentadas en estos dos últimos (Ocampo & Ocampo, 1999; Roberts, 2001).

Los protozoarios ectoparásitos (flagelados y ciliados) en general se consideran parásitos de tipo oportunista e invaden los peces cuando se encuentran en altas densidades de siembra o cuando sufren procesos estresantes (Roberts, 2001), en general pueden ubicarse tanto en la piel como en las branquias, tal como se pudo detectar en la descripción microscópica de los animales estudiados en este experimento.

Los daños o cambios que pueden causar los agentes estresantes son de tipo degenerativo o adaptativo, según el tipo y severidad del agente (Rodríguez, 1997). La piel de los peces es un órgano metabólicamente muy activo que tiene la capacidad de responder rápidamente ante diversos agentes estresantes acuáticos, con el fin de mantener su homeostasis. Entre estos agentes se encuentran la falta de alimento en el medio y los ectoparásitos entre muchos otros (Rodríguez, 1997). A nivel externo, el alevino presenta un oscurecimiento de la piel por la expansión de los melanocitos dérmicos y la aparición de una capa blanquecina sobre la piel por la producción de mucus; ambas respuestas se llevan a cabo como defensa al ataque del parásito e irritación cutánea respectivamente (Rodríguez, 1997). Los melanocitos dérmicos responden también ante el estrés mediante la elongación de sus proyecciones citoplasmáticas hacia los espacios intercelulares epidérmicos desde el primer día de estímulo, oscureciendo la piel en este tipo de peces, como se ha observado en la piel de los bocachicos sometidos a ayuno. Este proceso de migración melanínica, se considera un importante mecanismo de defensa pues los elementos intermediarios en la síntesis de la melanina son bactericidas (Rodríguez, 1997). En estado más avanzado de la enfermedad se observa necrosis celular. De acuerdo a lo anterior, la necrosis y la proliferación de células mucosas (producción de moco) junto con el oscurecimiento de la piel, como los aquí observados son cambios de tipo adaptativo. La necrosis se debe a la influencia directa del agente parasitario sobre las células, o por la invasión de otros patógenos de tipo oportunista como bacterias y hongos tomando ventaja del gran estado de desnutrición y debilidad por los agentes estresantes ya mencionados, por tanto, se genera un adelgazamiento progresivo de la epidermis durante las primeras fases de estrés mientras se logra la adaptación debido al desprendimiento de

las capas celulares superficiales y a la destrucción de algunas células epidérmicas basales complicando el adecuado recambio celular (Rodríguez, 1997).

En el caso de los dos agentes estresantes a los cuales se expusieron los bocachicos uno de ellos de forma voluntaria que llevó a la formación y aparición del otro de forma involuntaria, causaron daños de tipo degenerativo ya que se observó desprendimiento de las diferentes capas de la piel y por consiguiente necrosis celular. La muerte celular por necrosis se debe a la influencia directa del agente sobre las células como ocurre con el parásito o de manera indirecta por la exposición al ayuno. Lo anterior, genera un adelgazamiento progresivo de la epidermis durante las primeras fases de estrés como se observó en este experimento, mientras se intenta una adaptación, debido al desprendimiento de las capas celulares superficiales y a la destrucción de algunas células epidérmicas basales complicando el adecuado recambio celular (Rodríguez, 1997).

Como se ha mencionado, los alevinos fueron atacados por un protozooario y la enfermedad tuvo incidencia principalmente en órganos en los cuales hay un contacto permanente con el agua del acuario haciendo esto que sean los más vulnerables. Estos órganos son la piel y las branquias y es en estos órganos donde probablemente llevará a cabo su ciclo de vida. En la sintomatología observada en los individuos de los tratamientos sometidos a estrés nutricional se observó el ataque de un parásito, presentándose puntos blancos en la piel de los animales, aumentando la secreción mucosa, viéndose una gran cantidad de espuma en la superficie del agua de los acuarios y observándose microscópicamente daño de tipo degenerativo y necrótico epitelial en los peces.

Debido a lo anterior, se pudo comprobar que se trató de una *Ichthyophthiriasis*, la cual es conocida por ser una infestación grave en peces de agua dulce, especialmente en alevinos. Estos parásitos se localizan principalmente en el tegumento en donde producen la forma clínica de la enfermedad llamada “punto blanco” el cual es un síntoma que es claramente observable en las figura 11 tomadas a los individuos en los tratamientos afectados, pero su efecto patológico más importante al parecer es a nivel branquial. El daño celular causado se considera serio dado a que las formas infestantes tienden a localizarse sub-epitelialmente para efectuar las etapas subsiguientes de desarrollo (trofontes), produciendo enzimas líticas que destruyen las membranas basales y las uniones celulares (Roberts, 2001).

Las branquias y la piel son los órganos más expuestos al medio ambiente acuático, por consiguiente un agente estresante causa sobre estos un daño directo. La hiperplasia es común en los casos de irritación crónica que acompañan a las enfermedades metazoarias, protozoarias, bacterianas y a la irritación causada por agentes químicos y físicos disueltos o suspendidos en el agua. Este fenómeno se observó en los peces enfermos llevándose a cabo en las células epiteliales y en las células que componen las laminillas de las branquias. Los parásitos externos como el que atacó los alevinos del experimento, sumado a otros agentes patógenos de tipo oportunista son comunes, causando gran daño a la piel y a las branquias por efecto mecánico e irritativo (Rodríguez, 1997).

Los valores de oxígeno disuelto ( $O_2$ ) que se registran durante el tiempo del experimento son altos debido a la constante aireación de los filtros; según Bustamante (1997) el bocachico, tiene un requerimiento de 3 ppm, siendo éste más bajo que el obtenido en los muestreos de este estudio (5.7 en promedio con una variación aproximada a  $\pm 0.21$ ) dando un ambiente óptimo para los alevinos. Los valores promedio de temperatura estuvieron muy cercanos al límite inferior ( $24^\circ C$ ) requerido en los organismos de aguas cálidas como el bocachico (Boyd, 2000). Las condiciones óptimas para los peces se dan entre los límites de 6.5 y 9.0 de pH (Hepher, 1988 en Barrera, 2001). Esto concuerda con los datos promedios obtenidos para cada uno de los tratamientos en donde se registraron resultados muy cercanos a un pH neutro (7.0, con variación mucho menor a 1). A pesar de que se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos, estas variaciones son mínimas debido al ambiente controlado y poco variable de los acuarios con relación a un ambiente natural cuyas fluctuaciones son fuertemente marcadas en el transcurso del día (Boyd, 2000). Dado que el oxígeno, el pH y la temperatura se mantuvieron estables y en niveles óptimos para el bienestar de los alevinos de bocachico, se puede decir que estas condiciones fisicoquímicas del agua, no presentan variaciones muy marcadas que pudieran producir el ataque del patógeno.

El intestino fue el órgano donde se llevaron a cabo las alteraciones de tipo histológico más importantes como consecuencia del ayuno, ya que sumándose a que las vellosidades de la mucosa se mantienen disgregadas, los enterocitos sufren una gran disminución de su tamaño debido a la

disminución del contenido de las vacuolas, además, sus microvellosidades presentan un marcado desordenamiento y separación del borde de las células epiteliales.

Algo para resaltar y de gran importancia para el estudio, es que a pesar de alimentar nuevamente los individuos de cada tratamiento, con la presencia ya avanzada de la enfermedad, no se observa ningún tipo de recuperación o compensación del crecimiento en los individuos ni en aquellos que apenas presentan los primeros síntomas del ataque del patógeno, debido a que todos los animales se encuentran débiles, por lo tanto el consumo es mínimo y así los síntomas persisten hasta la muerte de los alevinos.

## 7. CONCLUSIONES.

La respuesta de los alevinos de bocachico al ayuno es semejante a la de otros teleósteos, los cuales gastan sus reservas energéticas y modifican estructuralmente los órganos.

Los bocachicos, al ser iliófagos presentan condiciones menos favorables para controlar los cambios metabólicos debidos a la disminución o ausencia de alimento.

Los bocachicos utilizados en este experimento (talla promedio de 3 cm.) no presentan crecimiento compensatorio después de ser sometidos a una restricción alimenticia y al ayuno total y por lo tanto, este fenómeno no se presenta como una herramienta para el incremento de la producción piscícola.

La restricción alimenticia y el ayuno, afecta negativamente el crecimiento del bocachico en este estudio y disminuye la eficiencia de conversión alimenticia.

El crecimiento compensatorio no es un método que mejore el rendimiento, la eficiencia de utilización del alimento, ni el potencial de crecimiento durante el cultivo larvario del bocachico en las condiciones planteadas en este estudio.

Las manifestaciones fisiológicas sufridas externamente como el rápido adelgazamiento corporal, el oscurecimiento de la piel, la producción de mucus, el desprendimiento de las capas de la piel y necrosis celular y microscópicamente como la degradación de la mucosa intestinal y gástrica, la disminución de las vellosidades intestinales y la degeneración de la musculatura, indican un estrés nutricional, por consiguiente, el ayuno actúa como un claro agente estresante.

Los alevinos utilizados para la realización del experimento son de corta edad por consiguiente presentan talla corporal pequeña indicando que sus reservas energéticas son muy bajas agotándose rápidamente haciéndolos susceptibles a altas mortalidades si son sometidos a prolongados periodos de ayuno.



El ayuno generó una grave deficiencia inmunológica en los alevinos quedando vulnerables al ataque del parásito ya que los alevinos que se encontraban en los acuarios controles no fueron atacados por el parásito ni por ningún otro agente de tipo infeccioso.

El avanzado ataque del parásito *Ichthyophthirius* no permitió la rápida recuperación y normalización de las reservas energéticas y funcionamiento de los principales órganos afectados por el ayuno y contribuyó a su rápido deceso a pesar de ser sometidos nuevamente a condiciones nutricionales óptimas.

## 9. BIBLIOGRAFIA.

Ali, M., Nicieza A. & Wootton. R.J. 2003. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. FISH and FISHERIES, 4, 147 – 190.

Barreto R.E., Moreira P.S.A. & Carvalho R.F. 2003. Sex-specific compensatory growth in food –deprived Nile tilapia. Brazilian Journal of Medical and Biological Research 36: 477 – 483.

Beltrán, I. C., Estrada M., & Valderrama M. 2000. Plan de ordenación: Manejo y aprovechamiento sostenible pesquero y acuícola en la cuenca del Río Grande de la Magdalena. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA. 31 p.

Caicedo J. P. & Perez J. A. 2001. Efecto de dos presentaciones de alimento suplementario durante la fase de levante en el desarrollo del bocachico (*Prochilodus magdalenae*). Steindachner 1.878. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia.

Chaparro, J. W. 2002. Evaluación de tres sistemas de alimentación durante la larvicultura de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en estanques en tierra INPA – Repelón. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Departamento de producción animal.

De Fex, R. 1982. Edad y crecimiento del Bocachico (*Prochilodus – reticulatus magdalenae* STEINDACHNER, 1878) en la parte baja del río Magdalena. B.Sc. Thesis, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 42 p.

Díaz M., Abellán E., Arizcu M., & Alarcón F.J. 2003. Efecto de periodos cortos de ayuno y realimentación en el dentón (*Dentex dentex*) Sobre la ingesta de alimento y crecimiento. Resúmenes IX Congreso Nac. de Acuicultura, Cadiz, España. 150 - 152.

Drury, R. A. B. & Wallington, E.A. 1980. Carleton's Histological Technique. Oxford: Oxford University Press.

Escobar, WA., Bernal MA., Beltrán IC. & Col. 2001. Fundamentos de Acuicultura Continental. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura INPA. Colombia. 423 p.

Eslava, P. R. 1999. Anatomopatología comparada de las alteraciones branquiales de la cachama blanca (*Piaractus brachipomus*). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Maestría en Salud y Producción Animal. Línea de Fisiopatología.

González, S. A., Solano J. M. & Otero R. J. 1981. Monocultivo y cultivo mixto de bocachico y dorada con tres tratamientos alimenticios. Universidad de Córdoba, Departamento de Biología. Centro de Investigaciones y Fomento Piscícola Continental Tropical (CINPIC). Convenio Inderena – AID - Universidad de Córdoba. Montería - Colombia. 13 p.

González, R. A. 2003. Aproximación a la determinación de los requerimientos nutricionales del alevino de Bocachico (*Prochilodus magdalenae*). Steindachner 1.878. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Postgrado en salud y producción animal línea nutrición de peces.

Gurney, W. S. C., Jones W., Veitch A. R., & Nisbet R. M.. 2003. Resource allocation, hyperphagia, and compensatory growth in juveniles. Ecology, 84 (10): 2777 – 2787.

Hernández D. C. & Rodríguez Z. 2001. Evaluación en estanque de 4 dietas isoprotéicas, con diferentes niveles de energía, en el desempeño productivo de alevinos de bocachico (*Prochilodus magdalenae*). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia.

Rabello, D. R., Santos dos Santos G. R., Roubach R. & Pereira-Filho M.. 2004. Desenvolvimento de tambaqui submetido a períodos de privação alimentar. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília. V.39 (12): 1199 – 1203.

Mancera, J. M. & Martín del Río M. P. 2000. El sistema de estrés en peces teleósteos. 4 p. <http://www.encuentros.uma.es/encuentros78/estres.htm>.

Mojica, J. I., Castellanos C., Usma S. & Álvarez R. (Eds). 2002. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia. La serie de libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del medio ambiente. Bogotá – Colombia. ISBN: 958-701-187-2

Muñoz, S. E., & Valderrama, M. 1999. Estrategias de Ordenamiento Pesquero Integral en el Magdalena Medio. 31 p.

Ocampo, A.A. & Ocampo L. 1999. Diagnóstico del Estrés en Peces. Artículo de revisión. *Vet. Méx.*, 30(40). p. 337 – 344.

Pirhonen, J. & Forsman L. 1998. Effect of prolonged feed restriction on size variation, feed consumption, body composition, growth and smolting of brown trout, *Salmo trutta*. *Aquaculture* 162: 203 – 217.

Quintero, L. E. & Velásquez S. 1993. Producción por hectárea del bocachico (*Prochilodus reticulatus magdalenae*) en cultivo mixto semi-intensivo con tilapia roja comparado con monocultivo semi-intensivo de bocachico. Rionegro, Universidad Católica de Oriente, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Tecnología Agropecuaria. Colombia. 31 p.

Robaina, L., Moyano F.J., Izquierdo M.S., Socorro J., Vergara J.M. & Montero D. 1997. Corn gluten and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): Nutricional and histological implications. *Aquaculture* 157: 347 – 359.

Roberts, R. 2001. Fish Pathology. Third Ed. W.B. Saunders. Edinburgh. 474p.

Rodríguez, P. A. 1997. Fisiología y patología cutánea de los peces teleósteos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Rodríguez, A., Gisbert E. & Castello-Orvay F. 2005. Nutritional condition of *Anguilla anguilla* starved at various salinities during the elver phase. Journal of Fish Biology 67, p. 521 – 534.

Rojas, L F. 1981. Crecimiento Ponderal del Bocachico *Prochilodus reticulatus* STEINDACHNER 1878, en Estanques Rurales en el Departamento de Córdoba. Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge CVS. División Recursos Naturales. Montería – Colombia.

Sealey W. M., Davis J. T., & Gatlin III D. M. 1998. Restricted Feeding Regimes Increase Production Efficiency in Channel Catfish. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) publication No. 189. 5 p.

Suárez, M.D., Ruiz-Cara T., Abellan E., Arizcun M. & Cardenete G. S. 2003. Efecto del ayuno y la realimentación sobre las características estructurales del músculo del dentón (*Dentex dentex*). España. 2 p.

Vigliano F. A., Quiroga M. I., Nieto J. M. 2002. Adaptaciones metabólicas al ayuno y realimentación en peces (Metabolic adaptation to food deprivation and refeeding in fish). Artículo de revisión. Rev. Ictiol. 10(1/2): 79-108.

INICNE & UNNE. s.f. Utilización de dietas a base de *espeller* de soja en ensayos de crecimiento compensatorio de pacú (*Piaractus mesopotamicus*). Instituto de Ictiología del Nordeste (INICNE) – Facultad de Cs. Veterinarias – UNNE. Sargento Cabral 2139 – (3400) Corrientes – Argentina. 2 p.