

**EFFECTO DEL DIÓXIDO DE CARBONO A DIFERENTES CONCENTRACIONES
EN LA PRODUCCIÓN DE ALEVINOS DE SÁBALO (*Brycon melanopterus*) EN
LA PISCIFACTORÍA AQUAMAZONÍA, VILLAGARZÓN - PUTUMAYO,
COLOMBIA**

KAREN MELYSSA LARRAÑAGA VILLOTA

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA
SAN JUAN DE PASTO
2012**

**EFFECTO DEL DIÓXIDO DE CARBONO A DIFERENTES CONCENTRACIONES
EN LA PRODUCCIÓN DE ALEVINOS DE SÁBALO (*Brycon melanopterus*) EN
LA PISCIFACTORÍA AQUAMAZONÍA, VILLAGARZÓN - PUTUMAYO,
COLOMBIA**

KAREN MELYSSA LARRAÑAGA VILLOTA

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero en Producción Acuícola**

Director

IVÁN ANDRÉS SÁNCHEZ ORTIZ
Ingeniero Civil, Esp.,M.Sc.

Codirector

WILMER RENÉ SANGUINO ORTÍZ
Ingeniero en Producción Acuícola

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA
SAN JUAN DE PASTO
2012**

“Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de Grado, son responsabilidad exclusiva de sus autores”.

Artículo 1 del Acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966 , emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

IVÁN ANDRÉS SÁNCHEZ ORTIZ
Ingeniero Civil, Esp., M.Sc.
PRESIDENTE DE TESIS

WILMER RENÉ SANGUINO ORTIZ
Ingeniero en Producción Acuícola
COPRESIDENTE DE TESIS

VILMA YOLANDA GOMEZ NIEVES
JURADO DELEGADO

GLORIA LUCÍA CÁRDENAS CALVACHI
JURADO

San Juan de Pasto, Febrero de 2012.

Dedico este trabajo de grado a:

Dios que siempre está cuidándome y guiándome, gracias por tantos regalos entre ellos la vida.

A mi Abuelita María Eugenia, gracias porque estando en vida fuiste mi segunda mamá, me cuidaste y regalaste muchos conocimientos.

A mi esposo Wilmer Sanguino por todo el amor que me das todos los días, por la felicidad que me haces sentir, por tus consejos, tus cuidados y atenciones, y por ser aquella personita que robó mi corazón.

A mi Papá Henry y mi Mamá Omayra por tantos esfuerzos y sacrificios para sacar a sus hijas adelante, por los valores inculcados y las enseñanzas recibidas para que seamos grandes personas.

A mis hermanitas Angie y María Camila por ser incondicionales; entre juegos y peleas ser esas personitas con las que contaré siempre.

A mis mascotas (aunque sé que ellas nunca leerán esto) Morgan, Peggy, Mota, Luna, Lola, Simón y Kalula por enseñarme esa amistad y ese afecto sin límites que me dan siempre.

A mis peces, que cada día me enseñan a conocerlos más y manejarlos mejor, quienes me ayudan a crecer como profesional.

“La Sabiduría suprema es tener sueños bastante grandes para no perderlos de vista mientras se persiguen”

William Faulkner

KAREN MELYSSA LARRAÑAGA VILLOTA

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos a:

| | |
|--------------------------------|---|
| IVÁN ANDRÉS SANCHEZ ORTÍZ | Ingeniero Civil, Esp., M.Sc. Docente de Ingeniería en Producción Acuícola |
| WILMER RENÉ SANGUINO ORTÍZ | Ingeniero en Producción Acuícola Docente de Ingeniería en Producción Acuícola |
| VILMA YOLANDA GÓMEZ NIEVES | Bióloga Docente de Ingeniería en Producción Acuícola |
| GLORIA LUCÍA CARDENAS CALVACHI | Ingeniera Química, Esp. Docente de Ingeniería en Producción Acuícola |
| JORGE NELSON LÓPEZ MACÍAS | M.V.Z., Esp., M.Sc., Ph.D. Director del Programa Ingeniería en Producción Acuícola |
| LUIS ALFONSO SOLARTE PORTILLA | Zootecnista, Esp. Secretario Académico de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño |
| PIEDAD MEJÍA SANTACRUZ | Secretaria del Departamento de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad de Nariño |
| OSCAR MEJÍA SANTACRUZ | Auxiliar del Centro de Documentación Especializado del Departamento de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad de Nariño |
| ÁLVARO BURBANO MONTENEGRO | Ingeniero en Producción Acuícola, M.Sc. en Ciencias Estadísticas. |

CAMILO GUERRERO ROMERO

Ingeniero en Producción Acuícola
Técnico de laboratorio

YENNY CAROLINA CUAICAL

Ingeniera en Producción Acuícola

Al señor LINO MUNIESA QUINTERO propietario de la PISCIFACTORÍA AQUAMAZONÍA Villagarzón – Putumayo y a todo su equipo de trabajo quienes me permitieron trabajar en sus instalaciones y me prestaron todo su apoyo y conocimientos.

Al programa de Ingeniería en Producción Acuícola y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en el desarrollo de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| RESUMEN | 15 |
| ABSTRACT | 16 |
| INTRODUCCIÓN | 17 |
| 1. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA | 20 |
| 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 21 |
| 3. OBJETIVOS | 22 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL | 22 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 22 |
| 4. MARCO TEÓRICO | 23 |
| 4.1 GENERALIDADES DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂) | 23 |
| 4.2 PRODUCCIÓN DE CO ₂ | 23 |
| 4.2.1 Producción Natural | 23 |
| 4.2.2 Producción Artificial. Según Groel | 26 |
| 4.3 MÉTODOS PARA MEDIR CO ₂ | 28 |
| 4.4 PROBLEMÁTICA MUNDIAL DEL CO ₂ EN ACUICULTURA | 28 |
| 4.4.1 Calentamiento global. | 30 |
| 4.4.2 Calentamiento global y la industria pesquera líder mundial | 31 |
| 4.4.3 El Océano Ártico, un futuro mar ácido | 32 |
| 4.4.4 Estrés en peces. Castelló, expresa que: | 33 |
| 4.4.5 CO ₂ en el agua y su efecto en los peces. | 33 |
| 4.4.6 El CO ₂ afecta la orientación y supervivencia de los peces | 34 |
| 4.4.7 El CO ₂ marino deforma los peces | 36 |
| 4.4.8 Efecto Bohr y Root | 37 |
| 4.5 GENERALIDADES DE LA ESPECIE: | |
| SÁBALO AMAZÓNICO (<i>Brycon melanopterus</i>) | 38 |

| | |
|---|----|
| 4.5.1 Clasificación taxonómica | 38 |
| 4.5.2 Distribución geográfica | 39 |
| 4.5.3 Características morfológicas externas | 39 |
| 4.5.4 Características internas | 40 |
| 4.5.5 Hábitos alimenticios | 42 |
| 4.5.6 Calidad de agua | 42 |
| 4.5.7 Alimento y alimentación | 45 |
| 5. DISEÑO METODOLÓGICO | 46 |
| 5.1 LOCALIZACIÓN | 46 |
| 5.2 INFRAESTRUCTURA | 46 |
| 5.3 PERIODO DE ESTUDIO | 47 |
| 5.4 MATERIAL BIOLÓGICO | 48 |
| 5.5 UNIDADES EXPERIMENTALES | 48 |
| 5.6 SISTEMA DE INYECCIÓN DE CO ₂ | 49 |
| 5.7 MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS | 50 |
| 5.7.1 Materiales | 50 |
| 5.7.2 Equipos | 51 |
| 5.7.3 Insumos | 51 |
| 5.8 PLAN DE MANEJO | 52 |
| 5.8.1 Lavado y desinfección | 52 |
| 5.8.2 Montaje del sistema | 52 |
| 5.8.3 Dosificación de CO ₂ | 52 |
| 5.8.4 Siembra de animales | 53 |
| 5.8.5 Alimento y Alimentación | 53 |
| 5.8.6 Muestreos | 53 |
| 5.8.7 Filtración de agua. | 54 |
| 5.8.8 Recambios de agua | 54 |
| 5.8.9 Toma de Parámetros Físico – Químicos | 54 |
| 5.8.10 Mortalidad | 56 |
| 5.9 TRATAMIENTOS | 58 |

| | |
|---|----|
| 5.10 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 58 |
| 5.10.1 Unidad experimental. | 58 |
| 5.11 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS | 59 |
| 5.12 VARIABLES A EVALUAR | 59 |
| 5.12.1 Sobrevivencia | 59 |
| 5.12.2 Incremento de Peso | 60 |
| 5.12.3 Incremento de Talla | 60 |
| 5.12.4 Conversión alimenticia aparente (CAA) | 60 |
| 5.12.5 Tasa de crecimiento simple | 61 |
| 5.12.6 Parámetros físico – químicos | 61 |
| 6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 62 |
| 6.1 VARIABLES PRODUCTIVAS | 62 |
| 6.1.1 Tasa de Crecimiento Simple | 62 |
| 6.1.2 Incremento de Peso | 63 |
| 6.1.3 Incremento de Talla | 65 |
| 6.1.4 Sobrevivencia | 67 |
| 6.1.5 Conversión Alimenticia Aparente | 69 |
| 6.2 PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS | 70 |
| 6.2.1 Oxígeno | 71 |
| 6.2.2 Temperatura. | 71 |
| 6.2.3 Potencial de Hidrogeniones – pH | 72 |
| 6.2.4 Dióxido de Carbono | 74 |
| 6.2.5 Alcalinidad | 75 |
| 6.2.6 Amonio | 76 |
| 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 78 |
| 7.1 CONCLUSIONES | 78 |
| 7.2 RECOMENDACIONES | 78 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA | 80 |
| ANEXOS | 87 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Parámetros físico químicos del agua | 42 |
| Tabla 2. Frecuencia de toma de parámetros | 55 |
| Tabla 3. Horario de toma de parámetros | 55 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Alevinos de Sábalo Amazónico (<i>Brycon melanopterus</i>) | 39 |
| Figura 2. Estación Piscícola Aquamazonía..... | 46 |
| Figura 3. Laboratorio de Reproducción, incubación y larvicultura..... | 47 |
| Figura 4. Alevinos de Sábalo amazónico empleados en este estudio. | 48 |
| Figura 5. Estante con acuarios utilizados en la investigación | 49 |
| Figura 6. Cilindro de CO ₂ y Flauta de Llaves | 49 |
| Figura 7. Lavado y desinfección de acuarios | 52 |
| Figura 8. Llaves dosificadoras de CO ₂ | 53 |
| Figura 9. Muestreo de animales (Talla y Peso)..... | 54 |
| Figura 10. Curva de Tasa de Crecimiento Simple | 62 |
| Figura 11. Tasa de Crecimiento Simple del Sábalo Amazónico (<i>B. melanopterus</i>)..... | 63 |
| Figura 12. Curva de Crecimiento Promedio Peso..... | 64 |
| Figura 13. Peso Promedio Inicial y Final..... | 64 |
| Figura 14. Incremento de Peso Promedio por Periodo (5 días)..... | 65 |
| Figura 15. Curva de Crecimiento Promedio Talla | 66 |
| Figura 16. Talla Promedio Inicial y Final | 66 |
| Figura 17. Incremento de Talla Promedio Periodo (5 días) | 67 |
| Figura 18. Curva de Supervivencia | 68 |
| Figura 19. Porcentaje de Supervivencia | 68 |
| Figura 20. Curva de Conversión Alimenticia por Periodo | 69 |
| Figura 21. Conversión Alimenticia Promedio por Tratamiento | 70 |
| Figura 22. Comportamiento del Oxígeno Disuelto | 71 |
| Figura 23. Comportamiento de la Temperatura | 72 |
| Figura 24. Comportamiento del pH | 73 |
| Figura 25. Comportamiento del Dióxido de Carbono | 74 |
| Figura 26. Comportamiento de la Alcalinidad | 76 |
| Figura 27. Comportamiento del Amonio | 77 |

GLOSARIO

ALEVINO: cría de pez que incluye la fase comprendida entre la larva y el adulto y que en ciertos peces de agua dulce se utiliza para repoblar.

BALANCEADO: alimento elaborado cuya composición es conocida, y se fabrica teniendo en cuenta criterios de equilibrio, donde se prepara una mezcla de alimentos naturales precocidos, que contienen todos los ingredientes nutricionales necesarios para cada especie animal.

BATERÍA DE ACUARIOS: sistema en el que se encuentran varias unidades de cultivo o en su caso unidades experimentales para la incubación y reabsorción del saco vitelino.

BIOMASA: masa de organismos en cualquier nivel trófico, área o volumen de un ecosistema. La biomasa se mide en cantidad de materia por unidad de superficie o de volumen.

DEGRANULACIÓN: desaparición de las granulaciones contenidas en el protoplasma de algunas células (polinucleares, mastocitos, etc.): por ejemplo, cuando estas granulaciones (o lisosomas) vierten su contenido enzimático en las vacuolas intracelulares (o fagocitomas) donde se efectuará la fagocitosis.

DENSIDAD DE SIEMBRA: relación del número de organismos hidrobiológicos con la superficie o volumen de un cuerpo de agua y varía según los requerimientos de la especie a cultivar y las características físico-químicas del agua.

EFEECTO BOHR: a un pH menor (más ácido), la hemoglobina se unirá al oxígeno con menos afinidad. Puesto que el dióxido de carbono está directamente relacionado con la concentración de hidrones (iones H) en la sangre, un aumento de los niveles de dióxido de carbono lleva a una disminución del pH, lo que conduce finalmente a una disminución de la afinidad por el oxígeno de la hemoglobina.

EFEECTO ROOT: reducción de la capacidad transportadora del oxígeno a la sangre, de los peces, a elevadas tensiones de CO₂.

ESPECIE NATIVA: organismo específico de un lugar, región o país también denominada autóctona.

HELMINTOS: que significa gusano, se usa sobre todo en parasitología, para referirse a especies animales de cuerpo largo o blando que infestan el organismo de otras especies.

HIPERCAPNIA: incremento de la presión de CO₂ sanguíneo, debido al incremento de la presión de CO₂ en el agua.

HIPERPLASIA: es el aumento de tamaño de un órgano o de un tejido, debido a que sus células han aumentado en número. Puede producirse en los tejidos cuyas células se pueden multiplicar, este proceso fisiológico se conoce además como hipergénesis.

INMUNOCOMPETENTES: son poblaciones de células las cuales participan y se interrelacionan para que se desarrolle la acción del sistema inmune.

LAMELAS: filamentos laminares carnosos con extensiones, las cuales se localizan en las hendiduras branquiales dentro de la cámara branquial.

LINFOPENIA: disminución de número de linfocitos. Es consecuencia de estrés por déficit de oxígeno, septicemias bacterianas e infecciones por hongos.

MELANOMACRÓFAGOS: son agrupaciones de macrófagos pigmentados, presentes en órganos hematopoyéticos principalmente de teleósteos superiores. Entre sus funciones están la destrucción y reciclaje de material exógeno y endógeno, almacenamiento de hierro, a partir de la eritrofagocitosis, y participación en el procesamiento de antígeno durante la respuesta inmune. Son considerados como bioindicadores celulares no específicos de estrés subletal debido a la exposición a ambientes contaminados.

NECROSIS: es la muerte patológica de un conjunto de células o de cualquier tejido del organismo, provocada por un agente nocivo que causa una lesión tan grave que no se puede reparar o curar.

NEFROCALCINOSIS: patología renal, se caracteriza por el depósito de sales de calcio y magnesio en el riñón y otros tejidos, asociado a degeneración y una respuesta inflamatoria crónica.

PROFILAXIS: tratamiento preventivo de desinfección para evitar la transmisión de un agente etiológico.

PROTOZOARIOS: son organismos microscópicos, unicelulares eucarióticos; heterótrofos, fagótrofos, depredadores o detritívoros, a veces mixótrofos (parcialmente autótrofos); que viven en ambientes húmedos o directamente en medios acuáticos, ya sean aguas saladas o aguas dulces.

TEJIDO INTERTICIAL: tejido conectivo y de sostén situado en el interior y alrededor de los principales elementos funcionales de un órgano.

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el efecto del dióxido de carbono (CO_2) a diferentes concentraciones en la producción de alevinos de sábalo amazónico (*Brycon melanopterus*), durante un periodo de 80 días; en la Estación Piscícola Aquamazonía, ubicada en la vereda La Paz, kilómetro 32 vía Villagarzón – Puerto Asís-Putumayo.

Los peces se sembraron en 12 acuarios de 45 L cada uno, a una densidad de 20 animales por acuario y se instaló un sistema de inyección de CO_2 , para distribuir este gas a cada unidad experimental.

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), distribuido en 4 tratamientos (T) con tres réplicas cada uno, conformados de la siguiente manera:

- T0 = Testigo, sin adición de CO_2
- T1 = Tratamiento con inyección de CO_2 hasta 20 mg/L
- T2 = Tratamiento con inyección de CO_2 hasta 30 mg/L
- T3 = Tratamiento con inyección de CO_2 hasta 40 mg/L

El estudio encontró diferencias significativas según el Análisis de Varianza al 95% de confiabilidad y Prueba de Tukey para: incremento de peso y talla siendo el mejor tratamiento con respecto a la primera variable T0 con 9,36 g; y para talla T1 con 8,11 cm, seguido de T0 con 8,03 cm. En cambio no se encontraron diferencias estadísticas significativas para conversión alimenticia aparente que presentó los siguientes valores T0: 3,77; T1: 2,24; T2: 1,51 y T3: 2,05, tampoco para la tasa de crecimiento simple que obtuvo resultados promedios, así: T0: 23,21%; T1: 23,27%; T2: 23,37% y T3: 19,76%. Y con respecto a la sobrevivencia, la prueba de Brand y Snedecor determinó que no hay diferencias significativas entre los tratamientos.

La calidad de agua fue monitoreada así: Temperatura 2 veces al día, Oxígeno y pH 4 veces al día, alcalinidad y amonio 1 vez por semana; los valores de estos parámetros estuvieron dentro de los rangos óptimos y no presentaron diferencias significativas; finalmente el CO_2 fue registrado 4 veces al día, garantizando así los niveles a cada acuario.

Los resultados de esta investigación permitieron concluir que el CO_2 afectó a los peces sometidos a concentraciones de hasta 20, 30 y 40 mg/L, ocasionando menores incrementos de peso y talla. Lo anterior afectó la estabilidad de los ejemplares, disminuyendo así su potencial acuícola.

ABSTRACT

In this research was evaluated the effect of carbon dioxide (CO₂) on different concentrations in the production of milkfish shad amazonic (*Brycon melanopterus*) for a period of 80 days; in the Aquamazonía Fish Station, located in the village of La Paz, 32 miles route Villagarzón - Puerto Asis, Putumayo.

The fish were stocked in 12 tanks of 45 L each, at a density of 20 animals per tank and it was installed a CO₂ injection system to distribute the gas to each experimental unit.

It was used a completely randomized design (CRD), distributed in 4 treatments (T) with three replicates each, made up as follows:

T0 = Control, no added CO₂

T1 = Treatment with CO₂ injection to 20 mg/L

T2 = Treatment with CO₂ injection to 30 mg/L

T3 = Treatment with CO₂ injection to 40 mg/L

The study found significant differences by ANOVA at 95% confidence interval and Tukey test, such as: increase of weight and height being the best treatment with respect to the first variable with 9,36 g T0, T1 and 8,11 cm height, followed by T0 to 8,03 cm. However, there were no statistically significant differences in apparent feed conversion which presented the following values: T0: 3,77; T1: 2,24; T2: 1,51; T3: 2,05; neither for the simple growth rate were average results, as follows: 23,21% T0; T1: 23,27%; T2: 23,37% and 19,76% T3. And regarding the survival, the Brand and Snedecor test found no significant differences between the treatments.

Water quality was monitored as follows: 2 times daily temperature, oxygen and pH 4 times a day, alkalinity and ammonia 1 time per week; the values of these parameters are within the optimal range and did not show significantly differences, and finally the CO₂ was recorded four times a day, thereby ensuring the levels to each aquarium.

The results of this research led to the conclusion that CO₂ affected the fish subjected to concentrations up to 20, 30 and 40 mg/L, resulting in smaller increases in weight and height. The above mentioned, affected the stability of the specimens, thus reducing their aquaculture potential.

INTRODUCCIÓN

Según Boyd “el dióxido de carbono está presente en todas las aguas, generalmente a menos de 5 mg/L, concentración soportable para los peces”¹. Sin embargo los procesos de respiración de las algas, macrófitas, peces, crustáceos, moluscos y zooplancton, como también los procesos microbiológicos de descomposición de la materia orgánica, son fuentes importantes de CO₂. Concentraciones altas de dióxido de carbono, en sistemas acuícolas intensivos y super-intensivos pueden generar efectos nocivos para los recursos hidrobiológicos de cultivo, como a la producción en general. Las concentraciones del CO₂ en el agua giran alrededor de 0,2 a 4 mg/L cuando los niveles de oxígeno disuelto son adecuados, por lo cual los peces pueden tolerar valores por encima de 10 mg/L. Por esta razón es fundamental estudiar el comportamiento y el efecto que el dióxido de carbono tiene sobre los sistemas de producción acuícola, y los perjuicios en las poblaciones ícticas en confinamiento, cuando estos valores se sobrepasan. Timmons *et al*² indica que en un sistema acuícola operado con alta densidad de cultivo, con bajas tasas de recambio de agua, oxigenación con poca aireación y un bajo pH, es probable que el dióxido de carbono disuelto, un producto de la respiración de los peces, se acumule a niveles que puedan crear condiciones tóxicas para los peces.

La acuicultura ha tomado gran importancia a nivel mundial, por cuanto es una excelente fuente de alimento proteico para la humanidad y una importante solución al problema de desnutrición de la población menos favorecida. Es por esto que cada día en el mundo se desarrollan técnicas y tecnologías, para que ésta actividad sea más eficiente en la producción por unidad de área.

Hoy en día, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, informa que la acuicultura enfrenta diferentes problemas tales como:

- A medida que la acuicultura se intensifica y diversifica, los peligros y riesgos biológicos para los animales criados, las personas y los ecosistemas también aumentan en número y diversidad, por lo que pueden llegar a tener graves consecuencias. Entre los peligros se cuentan las enfermedades infecciosas, las plagas animales, las preocupaciones por la salud pública en relación con los residuos y la resistencia de agentes antimicrobianos, las zoonosis, la aparición de especies exóticas invasoras, la liberación de organismos

¹ BOYD, Claude. Water Quality in warmwater fish ponds. Alabama, Estados Unidos: Craftmaster Printers, Inc., 1979. p. 72

² TIMMONS, Michael *et al*. Sistema de recirculación para acuicultura. Chile: Fundación Chile, 2002. p. 259.

modificados genéticamente y los riesgos que el cambio climático plantea para la bioseguridad³.

- El limitado recurso hídrico, que debe cumplir con las necesidades de los organismos hidrobiológicos en cuanto a cantidad y calidad en cada uno de los factores físicos-químicos, el cual ha sido a su vez afectado por la contaminación generada por los residuos de la acuicultura, tales como sólidos, amonio, CO₂, consumo de oxígeno disuelto, entre otros.
- Por otro lado, se debe enfrentar la contaminación del recurso hídrico por las grandes ciudades, industrias y la polución continua, que finalmente desembocan en lagos, lagunas, ríos y mares.
- Muchas operaciones acuícolas ubicadas en sistemas ribereños y costeros serán vulnerables a los efectos del cambio climático, tales como el aumento del nivel del mar, la mayor incidencia de las mareas de tormenta y las escorrentías en tierra, así como episodios meteorológicos extremos resultantes en inundaciones, sequías y otras perturbaciones, como el calentamiento de los océanos⁴.

La agencia protectora Environmental Protection Agency, EPA, afirma que “Uno de los gases de mayor producción a nivel mundial que se encuentra en la atmósfera y está disuelto en el agua es el dióxido de carbono. Las fuentes naturales se producen en el ciclo del carbono donde miles de millones de toneladas de CO₂ se eliminan a la atmósfera por medio de los océanos y las plantas que crecen conocidos como sumideros y se emiten a la atmosfera anualmente a través de las fuentes”⁵. El CO₂ es el responsable del calentamiento global⁶; además está presente en todos los sistemas de producción acuícola, pero en mayor proporción en sistemas intensivos y súper intensivos.

Según Castro⁷ en cultivos acuícolas una de las especies íctica, nativa, promisoría es el sábalo; que es apetecida por las comunidades y se comercializa en la regiones de la Amazonía y Orinoquia principalmente, debido a que hace parte de la dieta de los habitantes de esta zona desde hace varias décadas; ha demostrado ser una especie muy exigente en cuanto a calidad de agua para su cultivo. Su paquete tecnológico se encuentra en desarrollo y en permanente investigación por

³ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. El estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2010. Roma: Departamento de Pesca y Acuicultura, 2010. p. 106. (Citado 8 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://www.fao.org/docrep/013/i1820s/i1820s02.pdf>

⁴ Ibid., p. Disponible en Internet: URL: <http://www.fao.org/docrep/013/i1820s/i1820s02.pdf>

⁵ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. Carbon Dioxide. United States, 2012. Actualizado continuamente (Citado 10 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://www.epa.gov/climatechange/emissions/co2.html>

⁶ CO₂ NOW.org. Earth's CO₂ Home Page. California, United States, 2012. (Citado 11 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://co2now.org/>

⁷ CASTRO, Darío. Peces del Río Putumayo. Mocoa, Putumayo, Colombia: Corporación autónoma regional del Putumayo. 1994. p. 46.

parte de Universidades, instituciones y otras entidades tanto de orden público como privado.

El estudio, sobre el efecto que genera el dióxido de carbono en los sistemas de acuicultura, es limitado aún más en especies nativas de la cuenca amazónica, por lo que se hace necesario investigar tales efectos, que permitan en un futuro mejorar los cultivos y ampliar el conocimiento en esta área.

Este estudio permitió, evaluar el efecto del dióxido de carbono, a diferentes concentraciones en el cultivo de alevinos de sábalo amazónico, (*Brycon melanopterus*), bajo condiciones de laboratorio, estableciéndose según los resultados obtenidos los efectos que altas concentraciones de CO₂, trae para el crecimiento y desarrollo de los peces sometidos a estos niveles.

1. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Argumedo y Rojas indican que “concentraciones altas de dióxido de carbono tienen efectos narcóticos sobre los peces y pueden llegar a causar la muerte, el ingreso del CO₂ a estos organismos se hace por difusión mediante las branquias”⁸, acumulándose posteriormente en el torrente sanguíneo, con la consiguiente disminución del pH y transporte de oxígeno, dificultad en el intercambio gaseoso, nefrocalcinosis y bajas tasas de crecimiento que afectan directamente a la producción.

El Tratado de Cooperación Amazónica cita que “en estanques de piscicultura intensiva el dióxido de carbono libre fluctúa entre 0 - 10 mg/L al amanecer, con claros efectos sobre el pez”⁹; dicho parámetro puede incrementarse paulatinamente en diferentes fases de cultivo de los peces, en función de la densidad y la alimentación. En general, los niveles de dióxido de carbono por encima de 20 ppm, puede conducir al estrés, causando resultados negativos en el cultivo y producción, de cualquier organismo hidrobiológico.

⁸ ARGUMEDO, Eric y ROJAS, Hector. Manual de piscicultura con especies nativas. Asociación de acuicultores del Caquetá ACUICA. Bogotá, Colombia: Produmedios, 2000 . p. 41.

⁹ TRATADO DE COOPERACIÓN AMAZÓNICA. Piscicultura amazónica con especies nativas. Lima, Perú: SECRETARIA PRO – TEMPORE, Agosto 2002. (Citado 4 Febrero, 2011). Disponible en Internet: URL: <http://www.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/iiap/iiap1/TEXT01A.htm#TopOfPage>

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A diferencia de otros parámetros críticos de la calidad del agua, tales como el oxígeno disuelto y amoníaco, los estudios sobre el efecto o las causas del dióxido de carbono en los sistemas de acuicultura o de los niveles recomendados de este gas para una especie determinada, son pocos y en especies ícticas nativas no se han realizado.

Por lo anterior, esta investigación planteó la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto que tiene el CO₂ en la producción de alevinos de sábalo amazónico (*Brycon melanopterus*) expuestos a diferentes concentraciones?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del dióxido de carbono a diferentes concentraciones en la producción de alevinos de sábalo amazónico (*Brycon melanopterus*).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la tasa de crecimiento simple.
- Determinar el porcentaje de sobrevivencia.
- Evaluar la conversión alimenticia aparente.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 GENERALIDADES DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

De acuerdo con Wedler “el dióxido de carbono es un gas sin color, olor ni sabor y en concentraciones normales no tóxico para los organismos vivos. Es muy soluble en el agua y solamente 0,1% reacciona con el agua formando ácido carbónico”¹⁰; sin embargo, las concentraciones en agua pura son bajas (0,54 mg/L a 20°C), debido a su baja concentración en la atmósfera (alrededor de 0.035% por volumen). Timmons menciona que “la mayor parte del dióxido de carbono en la columna de agua en un sistema acuícola es producida por la respiración animal y la descomposición de materia orgánica, con un pequeño porcentaje proveniente de la difusión atmosférica”¹¹.

Boyd y Tucker indican que:

Las concentraciones del dióxido de carbono disuelto en los estanques de acuicultura por lo general se encuentran entre 0 mg/L en la tarde, y de 5 a 10 mg/L, o más, en la madrugada. Durante períodos prolongados de tiempo nublado, las tasas de fotosíntesis se disminuyen y las concentraciones de dióxido de carbono en la madrugada pueden aumentar con el tiempo. Las mayores concentraciones de dióxido de carbono en los estanques de acuicultura se producen después de la muerte del fitoplancton. La muerte súbita de las floraciones de fitoplancton pueden ocurrir naturalmente o como resultado de un tratamiento con herbicida u otros productos químicos fitotóxicos. El dióxido de carbono se acumula porque las tasas de fotosíntesis son bajas y gran parte de los gases son producidos por la materia vegetal muerta en descomposición. Las concentraciones pueden superar los 20 mg/L durante varios días después de la mortandad¹².

4.2 PRODUCCIÓN DE CO₂

4.2.1 Producción Natural

- **Ciclo del carbono.** Odum indica que:

¹⁰ WEDLER, Eberhard. Introducción en la Acuicultura con énfasis en los neotropicos. Santa Marta, Colombia: Litoflash, 1998. p. 41.

¹¹ TIMMONS, Michael *et al*, Op. cit., p. 38.

¹² BOYD, Claude y TUCKER, Craig. Pond Aquaculture Water Quality. Estados Unidos: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 122.

En primer lugar está el ciclo biológico en el cual se producen unos intercambios de carbono entre los seres vivos y la atmósfera. La retención del carbono se produce a través de la fotosíntesis de las plantas, y la emisión a la atmósfera, a través de la respiración animal y vegetal. En segundo lugar, está el ciclo biogeoquímico más extenso que el biológico y que regula la transferencia entre la atmósfera y los cuerpos de agua y suelo.

El CO₂ emitido a la atmósfera, si supera al contenido en los océanos, ríos, etc. es absorbido con facilidad por el agua convirtiéndose en ácido carbónico. Este ácido influye sobre los silicatos que constituyen las rocas y se producen los iones bicarbonato, los cuales son asimilados por los animales acuáticos en la formación de sus tejidos. Una vez que estos seres vivos mueren quedan depositados en los sedimentos de los fondos marinos. Finalmente, el CO₂ vuelve a la atmósfera durante las erupciones volcánicas al fusionarse en combustión las rocas con los restos de los seres vivos¹³.

- **Respiración de los peces.** El Tratado de Cooperación Amazónica menciona que “a nivel de las branquias se produce el intercambio gaseoso y el oxígeno disuelto en el agua pasa a la sangre a través de las laminillas branquiales que están vascularizadas para cumplir esta función. Por otro lado, en este mismo nivel se produce la liberación del dióxido de carbono producido por la oxidación celular en los tejidos. En algunos peces desnudos, el intercambio gaseoso puede producirse también a través de la piel”¹⁴.

- **Algas.** Según el Sistema Natural, Natural Environmental Systems:

Las algas liberan oxígeno dentro del agua, cuando la floración es excesiva, terminan afectando el nivel de oxígeno del estanque. Durante las horas diurnas, las algas consumen el dióxido de carbono del agua y liberan oxígeno. Pero al caer la noche, este proceso se invierte y las algas empiezan a usar el oxígeno presente para sobrevivir. De modo que cuando la población de algas es grande, los niveles de oxígeno se ven muy reducidos en las horas nocturnas, lo que genera más crecimiento de algas durante el día¹⁵.

- **Materia orgánica.** Roldán y Ramírez señalan que:

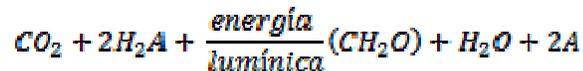
Son todos aquellos residuos provenientes de animales y vegetales que sufrieron descomposición a tal punto que el material original no se reconoce más. Los

¹³ ODUM, P. Eugene. Ecología. México, D.F.: Editorial Interamericana, 1993. p. 504

¹⁴ TRATADO DE COOPERACIÓN AMAZÓNICA, Op. Cit., p. Disponible en Internet: URL: <http://www.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/iiap/iiap1/TEXT01A.htm#TopOfPage>

¹⁵ NATURAL ENVIRONMENTAL SYSTEMS, L.L.C (online). Dallas, TX (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en Internet: URL: <http://ambientalnatural.com.mx/Article.php?ArticleSKU=Algae-Growth>

productores primarios fotoautotróficos son los que usan la energía solar para sintetizar materia orgánica, por ejemplo, sulfobacterias, algas y plantas acuáticas. Los productores primarios quimioautotróficos usan energía de las reacciones de oxidación para sintetizar materia orgánica; pertenecen a ellos las bacterias nitrificantes, algunas sulfobacterias y las halobacterias. Estas últimas pueden ser aeróbicas o anaeróbicas. Entre las anaeróbicas se encuentran las bacterias verdes del tipo *Chlorobium*, las cuales, durante su fotosíntesis, jamás liberan oxígeno, pues es un veneno para aquellos organismos estrictamente anaeróbicos.



Dónde:

H_2A : representa agua o alguna sustancia de la cual se puedan retirar electrones, como sulfuro de hidrogeno, hidrógeno libre y otros compuestos que usan las bacterias fotosintéticas

$(CH_2O)_n$: simboliza un carbohidrato con CH_2O repetido n veces

A : es otro elemento¹⁶.

- **Levadura.** Para Cherry “son hongos unicelulares los cuales se caracterizan por una gran dispersión de los hábitats naturales. La levadura más conocida y comercialmente significativa es la especie *Saccharomyces cerevisiae*. Estos organismos han sido utilizados para fermentar los azúcares para producir bebidas alcohólicas y en la industria de la panificación para subir, la masa. Esta fermentación emite dióxido de carbono y etanol”¹⁷.
- **Fermentación alcohólica.** Bisson indica que :

Es un proceso biológico que se da en ausencia de aire, originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono para obtener como productos finales, un alcohol en forma de etanol, dióxido de carbono y unas moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. Se lleva a cabo por levaduras del género *Saccharomyces*, las especies más comunes son *S. cerevisiae* y *S. bayanus*. Estas especies convierten la glucosa, fructuosa y la sacarosa en etanol a través del proceso de fermentación¹⁸.

¹⁶ ROLDÁN, Gabriel y RAMÍREZ, John. Fundamentos de Limnología neotropical. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia, 2008. p. 37.

¹⁷ CHERRY, JM *et al.* *Saccharomyces* Genoma Database. California, United States: Stanford University (Citado el 7 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: http://www.yeastgenome.org/community/VL-what_are_yeast.shtml

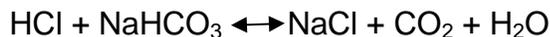
¹⁸BISSON, Linda. The Alcoholic Fermentation. California, United States: University of California, 2001. p.1. (Citado el 11 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://fbisson.ucdavis.edu/PDF/VEN124%20Section%203.pdf>

4.2.2 Producción Artificial. Según Groel¹⁹ la producción artificial se da por:

- **Reacción de un ácido y una base.** Cuando algunos ácidos reaccionan con algunas bases se produce dióxido de carbono como parte de esa reacción.

- **Ácido Clorhídrico y Bicarbonato de sodio**

La base elegida es una solución de bicarbonato de sodio que puede o no estar precipitada y el ácido es clorhídrico concentrado. La reacción química es:



- **Reacción de vinagre (ácido acético) y Bicarbonato de sodio**

En este caso se reemplaza el ácido clorhídrico por vinagre común. Debido a que la cantidad de ácido acético en el mismo es baja, suele necesitarse una gran cantidad de vinagre, comparada a la necesaria con el ácido clorhídrico, para neutralizar el bicarbonato. La reacción sería:



- **Reacción ácido cítrico y bicarbonato de sodio**

La reacción química es:



Wedler menciona que “el carbono es el elemento básico en la producción primaria, fase inicial de la cadena trófica. En el agua se presenta en tres formas, el dióxido de carbono libre (CO_2 - libre), el bicarbonato (HCO_3^-) y el carbonato (CO_3^{2-}). El equilibrio entre estas tres formas controla el pH e influye esencialmente en la fertilidad del agua”²⁰.

Mientras Russel y Larena señalan que “agregar CO_2 al agua produce una solución ácida, y CO_2 disuelto más HCO_3^- . lo que constituyen un buffer”²¹.

- **Inyección de CO_2**

¹⁹ GROEL, Néstor. Generación de dióxido de carbono mediante la reacción de un ácido y una base. Argentina: Sociedad Acuariológica del Plata, 2006 (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en Internet: URL: http://www.sadelplata.org/articulos/groel_060907.html

²⁰ WEDLER, Eberhard, Op. Cit., p. 40.

²¹ RUSSELL, J y LARENA, A. Química. España: MacGraw-Hill, 1989. p.489

- **Pastillas**
Se comercializan en tiendas de acuariofilia y tienen la ventaja de su facilidad de uso y la desventaja de su precio cuando el acuario tiene unas dimensiones importantes.
- **Inyección de CO₂ presurizado**
Mediante el método de alta y baja presión. Requiere la compra de un equipo bastante caro, consistente en un cilindro con regulador, manómetros, válvula, etc²². Con este sistema se obtiene una inyección precisa y controlada²³.

Para Skomorowski otra forma de inyectar CO₂ es:

Elaborando un sistema de inyección de CO₂ con una botella de fermentación del azúcar por medio de la levadura. Este método es económico ya que a través de la fermentación se obtiene el dióxido de carbono necesario para el acuario; el gas pasará a un recipiente hermético el cual estará conectado por medio de una manguera al acuario, aquí se realiza la inyección de este gas, para esto se debe mantener las burbujas de CO₂ en contacto con el agua para mayor absorción²⁴.

Este gas es obtenido de forma industrial a través de procesos químicos.

Según la empresa Cryogas²⁵ manejan Anhidrido Carbónico; Líquido Refrigerado (CO₂) el cual suministran en cilindros metálicos como gas comprimido no inflamable, que presenta las siguientes características:

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado Físico: Líquido.

% Volumen: 99,8 a 99,999

Temperatura de sublimación: -78,6°C.

Punto triple: -56,57°C y 75,2 psia.

²² ACUARIOS.ES. Enciclopedia acuarios y peces (online). El acuario plantado IV: El CO₂ y el abonado. 14 de Julio 2008 (Citado el 4 Febrero 2010). Actualizado continuamente. Disponible en Internet: URL: http://enciclopedia.acuarios.es/wiki/El_acuario_plantado_IV:_El_CO2_y_el_Abonado

²³ ARROYO, Marco. Inyección de CO₂ con cilindro. México: Comunidad Acuariofila Regiomontana, Julio de 2008 (Citado el 4 Febrero 2010). Actualizado mensualmente. Disponible en Internet: URL: http://www.carac.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=54:inyeccion-de-co2-con-cilindro&catid=40:bricolage&Itemid=55

²⁴ SKOMOROWSKI, Zenin. Do it yourself CO₂ injection for the planted Aquarium. Michigan, United States: KWAS. (Citado 12 Febrero 2012) Disponible en Internet: URL: <http://www.kwas.ca/Articles/article3.pdf>

²⁵ CRYOGAS. Gases Medicinales. Dióxido de Carbono. Medellín, Colombia: Grupo INDURA. (Citado 24 Noviembre de 2011). Disponible en Internet: URL: http://www.cryogas.com.co/productos_detalle.asp?idq=3033&a=GASES&ai=3481&b=GASES MEDICINALES&bi=3506&c=

OTRAS PROPIEDADES

Solubilidad en agua: Muy soluble.

Límite permisible ponderado: 5000 ppm.

Apariencia y olor: Inodoro e incoloro.

Presión de vapor a 21,1°C: 856 (psia)

Timmons *et al*²⁶, indica que el dióxido de carbono se encuentra en el aire en un 0,032% y que la solubilidad de dicho gas en el aire es de 0,69 mg/L a una temperatura de 15°C; además de que es altamente soluble en el agua. Roldán y Ramírez señalan que “el coeficiente de solubilidad de CO₂ es mucho mayor que el del oxígeno y del nitrógeno, pues el CO₂ es 200 veces más soluble que el oxígeno”²⁷.

Por otra parte Crites y Tchobanoglous²⁸ señalan que el peso molecular del CO₂ es de 44, su peso específico es de 0,1235 lb/pie³ y una densidad de 1,9768 g/L.

4.3 MÉTODOS PARA MEDIR CO₂

Para Wedler el CO₂ se debe medir de la siguiente manera:

El dióxido de carbono y los aniones de su ácido se pueden calcular solo indirectamente. En la determinación del CO₂ libre en el agua se calcula la cantidad de CO₂ equilibrante y de CO₂ agresivo que se encuentran disueltos en el agua. El proceso se basa en el hecho en que en un pH de 8.5 todo el CO₂ está fijado como bicarbonato (HCO₃). Agregando a la muestra iones de OH⁻ se puede elevar el pH de la muestra hasta 8.5. Un cambio en el color del indicador fenolftaleína indica cuando se llega a este valor. El OH⁻ gastado en este proceso informa sobre la cantidad de CO₂ en la muestra²⁹.

4.4 PROBLEMÁTICA MUNDIAL DEL CO₂ EN ACUICULTURA

El mar es uno de los mayores reservorios naturales de carbono, se estima que absorbe aproximadamente un tercio del CO₂ liberado de todas las actividades humanas (emisiones de combustibles fósiles, fabricación del cemento y los cambios del uso del suelo). Durante los próximos miles de años, se predice que el océano absorberá aproximadamente el 90% del CO₂ emitido a la atmósfera.

²⁶ TIMMONS, Michael *et al*, Op. cit., p. 260.

²⁷ ROLDÁN, Gabriel y RAMÍREZ, John, Op. cit., p. 100.

²⁸ CRITES, Ron y TCHOBANOGLIOUS, George. Sistema de Manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Bogotá, Colombia: McGraw – Hill, 2000. p. 1019.

²⁹ WEDLER, Op. cit., p. 43.

En períodos geológicos pasados, el océano experimentó grandes fluctuaciones químicas las cuales condujeron a las alteraciones en los ecosistemas oceánicos, pero hoy la preocupación es que el calentamiento y la acidificación es mucho más rápida que en el pasado y es demasiado rápida para que los ecosistemas se adapten a los cambios.

El aumento de CO₂ estará acompañado por el aumento de la temperatura superficial del océano, cambios en la disponibilidad de nutrientes, disminución de O₂ en el agua más caliente, cambios en la salinidad debido a la calefacción y efectos de las precipitaciones y los cambios en el océano, la circulación y el viento³⁰.

Mientras que al oxígeno y a los niveles de amoníaco se les hace un seguimiento más profundo por parte de los investigadores, por ser estas partes importantes de la salud y rendimiento de los peces, a los niveles de dióxido de carbono se los ignora y se los controla muy poco. Esto se debe a que no es fácil medir el CO₂ y se supone que, si los parámetros de calidad del agua, en particular de oxígeno, están bien, entonces el CO₂ no será un problema.

Los niveles de dióxido de carbono por debajo de 10 mg/L, se piensa que son bien tolerados por los peces, aunque la sensibilidad al gas varía entre especies. El nivel de CO₂ en el agua varía con la actividad fotosintética y respiratoria de los animales y plantas en el agua entrante, el nivel de descomposición de materia orgánica en el agua, y la respiración de los peces. El CO₂ se puede acumular a niveles significativamente altos en los sistemas con grandes cantidades de peces y de renovación de agua relativamente lento.

El efecto de la mayor emisión de CO₂ en el agua reduce la velocidad a la que el CO₂ del metabolismo propio de los peces puede ser liberado de la sangre a través de las branquias, por lo que el CO₂ en la sangre también aumenta.

En corto plazo, la fisiología de los peces puede contrarrestar el efecto de equilibrio de la acidosis haciendo poco daño con un intercambio de iones como el aumento de la absorción de bicarbonato y la pérdida de hidrógeno y de iones de fosfato. En el largo plazo, este acto de equilibrio puede tener un efecto más profundo en la salud de los peces como la nefrocalcinosis; entidad patológica relacionada con el alto CO₂ disuelto, que lleva a la formación de grandes depósitos mineralizados en el tejido de excreción del riñón y la patología renal asociada. La relación entre la nefrocalcinosis y CO₂ alto no está aun completamente comprendida, pero es

³⁰ SCOR/IOC. Symposium Planning Committee. The Ocean in a high-CO₂ world. Oceanography: Vol.17, No.3, 2004 (Citado 13 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: http://www.tos.org/oceanography/issues/issue_archive/issue_pdfs/17_3/17.3_scor_ioc.pdf

probable que incluya la excreción de minerales, especialmente fósforo y calcio, cuando se realice la compensación de la acidosis en la sangre³¹.

4.4.1 Calentamiento global.

- **Efecto Invernadero en el planeta tierra.** La EPA menciona que:

La radiación solar de onda corta atraviesa la atmósfera siendo absorbida, en parte, por el suelo. Otra parte de la radiación, queda en la atmósfera gracias a la capa existente de gases como el CO₂. Por último, la cantidad restante y más grande, vuelve a salir al espacio convertida en una longitud de onda correspondiente a los rayos infrarrojos.

Debido al aumento de los gases en la atmósfera de la tierra, gran parte de estos rayos no pueden escapar al espacio en las cantidades normales permaneciendo en la atmósfera y modificando su temperatura incrementándola.

Las emisiones de los gases de efecto invernadero, están dados por las actividades relacionadas con la energía que representan más del 85% de las emisiones de gases, principalmente en forma de dióxido de carbono, generadas por los humanos por actividades como: la quema de combustibles fósiles, plantas de energía, transporte, procesos industriales (tales como la producción de cemento, acero y aluminio), agricultura, silvicultura, usos de la tierra y manejo de residuos³².

Por otra parte la organización del dióxido de carbono CO₂ Now indica que:

Los niveles elevados de CO₂ que atrapan el calor en la atmósfera tienen muchos impactos en el planeta. Este aumento del calor afecta el clima natural de la tierra, por lo que los registros de temperatura están aumentando, lo cual se puede observar en la disminución de las capas de hielo en el Ártico y en las montañas, las sequías, las lluvias y tormentas son más frecuentes y severos; el agua dulce escasea y los niveles del mar están subiendo y trayendo más inundaciones en tierras bajas de las naciones, ciudades, aldeas y campos de cultivo³³.

³¹ THE FISHSITE.COM (online). La importancia de la medición de dióxido de carbono en la Acuicultura. Inglaterra, Julio 2005 (Citado el 4 Febrero 2010). Actualizado continuamente. Disponible en Internet: URL: http://translate.google.com.co/translate?hl=es&langpair=en|es&u=http://www.thefishsite.com/articles/103/the-importance-of-measuring-carbon-dioxide-in-aquaculture&prev=/translate_s%3Fhl%3Des%26q%3DCO2%2Ben%2Bacuicultura%26tq%3DCO2%2Bin%2Bacuicultura%26sl%3Des%26tl%3Den

³² ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA., Op. cit., p. Disponible en Internet: URL: <http://www.epa.gov/climatechange/basicinfo.html>

³³ CO₂ NOW.org., Op. cit., p. Disponible en Internet: URL: <http://co2now.org/Future-CO2/Targets/carbon-targets-for-humanity.html>

Se estima que desde 1750 el aumento del dióxido de carbono en la atmósfera ha sido del 30%. En los últimos cien años, la Comisión Intergubernamental de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha estimado en 0,6 °C el aumento de la temperatura a nivel global. Esto ha provocado cambios en el nivel del mar, entre 0,1 y 0,2 m entre finales de la década de 1960 y 1990, la desaparición parcial de glaciares, el avance de la desertización en las zonas más cálidas y la disminución del hielo en los polos.

Además se espera un aumento mayor de la temperatura de entre 1,4 y 5,8 °C, entre 1990 y 2100 si no se siguen las recomendaciones de la Cumbre de Río el 11 de junio de 1992 posteriormente ratificadas en el Protocolo de Kyoto. Este aumento de temperatura podría provocar un cambio climático tan radical como una glaciación pero a la inversa³⁴.

Según la cumbre sobre Cambio Climático de Copenhague³⁵, el acuerdo no fija un año en el que las emisiones de CO₂ deben llegar a su punto más alto para luego iniciar su descenso. Tampoco indica en cuánto se deben reducir las emisiones. Los países deberán anunciar en qué porcentaje reducirán sus emisiones para 2020 el 1º de febrero de 2010. El acuerdo tampoco menciona metas para 2050.

4.4.2 Calentamiento global y la industria pesquera líder mundial. Según el Centro de Investigaciones en Ecosistemas y Cambio Global³⁶, los peces están cada vez más amenazados por los efectos del cambio climático dado el aumento de la temperatura de los ríos, lagos y océanos. A medida que aumenta la temperatura del agua, disminuye la comida disponible, se producen menos crías y hay menos oxígeno para los peces marinos y de agua dulce.

Por todo el mundo, la pesca marina y la de agua dulce generan más de US\$130 billones anualmente, generan empleos para al menos 200 millones de personas, y alimento para billones de personas, quienes dependen del pescado como su fuente primaria de proteína, en particular en los países más poblados y pobres del planeta.

³⁴ ENCICLOPEDIA DEL ESTUDIANTE. Ecología. Buenos Aires, Argentina: Santillana S.A., 2006. p. 317

³⁵ CAMBIO CLIMÁTICO. Cumbre de Copenhague, 7 al 18 de Diciembre de 2009 (Citado el 16 Marzo 2011). Disponible en Internet: URL: <http://www.cambio-climatico.com/la-cumbre-de-copenhague-naufraga-en-una-clausura-decepcionante>

³⁶ CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ECOSISTEMAS Y CAMBIO GLOBAL. Calentamiento Global y la Industria pesquera líder mundial. Medellín, Colombia: Carbonoybosques.org, 2006 (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en Internet: URL: http://www.carbonoybosques.org/ultimas_noticias/impacto_sobre_la_fauna_marina.html

No obstante, los recursos pesqueros están siendo amenazados por el calentamiento global. Los gases invernaderos liberados principalmente por la quema de combustibles fósiles, el aceite y el gas natural han conducido al aumento repentino de la temperatura media global en los últimos 50 años. Se espera que las temperaturas se eleven de 1.4 a 5.8°C hacia finales del siglo. Por consiguiente, el agua en ríos y lagos se calienta, y aún la de los océanos, se ha calentado en los 50 años pasados.

4.4.3 El Océano Ártico, un futuro mar ácido. Plitt señala que:

Las emisiones de dióxido de carbono están aumentando la acidez de los océanos a un ritmo tan acelerado, que en muchas regiones del Polo Norte el mar se tornará corrosivo dentro de 10 años, advirtió un estudio avalado por el proyecto EPOCA (Proyecto Europeo sobre el Proceso de Acidez de los Océanos) y presentado recientemente en una conferencia en Barcelona, España.

Esto significa que el agua de mar comenzará a disolver el caparazón de las almejas y otros mariscos del que se alimentan una variedad de peces interrumpiendo así la cadena alimenticia.

"La aceleración se debe a que están aumentando las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a un ritmo muy superior al que se había anticipado en el año 2000".

Las conchas de las almejas y los esqueletos de los corales están hechos de carbonato de calcio. Si este elemento se reduce debido a la mayor presencia de CO₂ en el agua, los primeros en sufrir son estos organismos "El ritmo es mucho más rápido en el Ártico que en otras zonas, porque el CO₂ se disuelve mucho más rápido en agua fría".

En las aguas cálidas, aunque en menor medida, también se están notando los efectos de la acidez. "Es cuestión de tiempo. Los corales, que están cerca del Ecuador, también están mostrando signos de deterioro a raíz de la acidez, pero para 2060, el impacto será dramático", agrega Gattuso³⁷.

Según Hood³⁸, las primeras áreas en ser afectadas por la acidificación de los océanos son las regiones de altas latitudes y zonas de aguas profundas, donde los niveles de carbonatos naturales son los más bajos. En aguas superficiales afectará a todos los organismos calcáreos en las aguas de superficie productiva, incluyendo cocolitóforos, foraminífera y pterópodos, que forman la base

³⁷ PLITT, Laura. El Océano Ártico, un futuro mar ácido. BBC Mundo, 6 de Octubre 2009 (Citado el 4 Febrero 2010). Actualizado continuamente. Disponible en Internet: URL: http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia_tecnologia/2009/10/091006_1029_oceano_lp.shtml

³⁸ HOOD, María *et al.* Ocean Acidification. (Citado 11 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://www.ocean-acidification.net/FAQeco.html>

alimentaria para muchas especies marinas y que desempeñan un papel importante en el ciclo natural del carbono de la superficie del océano. Los ecosistemas de los arrecifes de coral van a experimentar una calcificación reducida a medida que avanza la acidificación del océano, llevando a lentas tasas de crecimiento y una estructura esquelética más frágil.

4.4.4 Estrés en peces. Castelló, expresa que:

Todos los seres vivos están inmersos en un medio ambiente, constituido por elementos biológicos y físicos que configuran su ecosistema. Con dichos elementos, el ser vivo establece relaciones e intercambios (materia y energía), y su funcionalismo se ha adaptado a las características y peculiaridades de aquellos elementos.

El estudio a las respuestas adaptativas a los cambios ambientales permite considerar una serie de estados en los seres vivos que son exponentes de su capacidad de respuesta, y por ello definen su adecuación a conseguir una mejor supervivencia; estos estados o condiciones son la tolerancia, la resistencia y el estrés.

Entendemos por tolerancia el resultado eficaz de las medidas que adopta un organismo frente a un cambio ambiental, con las cuales asegura su normal funcionalismo y su supervivencia. Esta tolerancia es sólo factible dentro de unos valores ambientales determinados, que delimitan los llamados polígonos o áreas de tolerancia.

La resistencia es, por otra parte, la capacidad de soportar cambios ambientales pero con merma de actividades vitales, y la mortalidad marca el límite de la resistencia.

En todos los casos se establece una condición conflictiva en el funcionalismo del organismo, surgida en su intento de conseguir una respuesta adaptativa. Esta situación se acentúa cuanto mayor es la desproporción entre la naturaleza e intensidad del agente ambiental cambiante y la capacidad del organismo para adaptarse a este factor, o al menos para neutralizarlo. La condición en que se encuentra el organismo es a lo que se denomina estrés³⁹.

4.4.5 CO₂ en el agua y su efecto en los peces. El CO₂ se introduce en el agua a través de la respiración de los peces y bacterias. A medida que se aumentan las densidades de cultivo y disminuyen las tasas de recambio de agua, el CO₂ disuelto se convertirá en un factor limitante de la producción. Calcular la concentración del dióxido de carbono disuelto es complicado, debido a que el CO₂ es parte de un sistema químico en equilibrio que incluye dióxido de carbono (CO₂), ácido

³⁹ CASTELLÓ, Francisco. Acuicultura Marina. Fundamentos biológicos y tecnología de la producción. Barcelona, España: Publicacions de la Universitat de Barcelona, 1993. p. 565 - 564.

carbónico (H_2CO_3), bicarbonato (HCO_3^-) así como iones de carbonato (CO_3^{2-}). Como resultado, la concentración de cualquier ión depende del pH, y para determinar sus valores de concentración se debe conocer los valores de pH, alcalinidad, y temperatura.

El dióxido de carbono es tóxico para los peces porque reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno. A medida que la concentración de CO_2 aumenta en el agua, también aumenta el nivel de CO_2 en la sangre.

Timmons indica que “para tilapia y lubina híbrida, las concentraciones de CO_2 tan altas como 60 mg/L no han mostrado efectos adversos. Para trucha, los valores de 9 – 30 mg/L son generalmente asumidos como seguros. El dióxido de carbono también puede afectar a los peces y a las bacterias del filtro biológico debido a una reducción del pH global de los sistemas”⁴⁰.

4.4.6 El CO_2 afecta la orientación y supervivencia de los peces. Es muy probable que la presión parcial del CO_2 se duplique en la superficie del océano en este siglo; junto a esto, el pH será tres veces mayor durante la transición entre períodos glaciales e interglaciares lo que produce profundos impactos sobre los organismos y ecosistemas marinos⁴¹.

El CO_2 se disuelve en la superficie del océano, reacciona con el agua de mar para formar ácido carbónico, aumenta la acidez del océano y desplaza la partición de las especies de carbono inorgánico hacia un aumento de CO_2 y carbono inorgánico disuelto y disminuye la concentración de iones de carbonato.

El aumento de la acidez del agua en océanos causado por la absorción de CO_2 de la atmósfera afecta el sistema olfativo, de reconocimiento familiar, y de orientación de los peces, además de su capacidad para encontrar refugios adecuados para sobrevivir. Roldán y Ramírez indican que “así mismo el oxígeno y el CO_2 son los gases más importantes en el agua, ambos son esenciales para que haya un adecuado balance en un ecosistema; un consecuente incremento del CO_2 por efectos de la respiración, afecta directamente el pH del agua y en consecuencia compuestos tóxicos como el amoníaco pueden ser potencialmente peligrosos para la vida de los peces”⁴².

⁴⁰ TIMMONS, Michael *et al*, Op. cit., p. 286.

⁴¹ SCOR/IOC, Symposium Planning Committee, Op. cit., p. Disponible en Internet: URL: http://www.tos.org/oceanography/issues/issue_archive/issue_pdfs/17_3/17.3_scor_ioc.pdf

⁴² ROLDÁN, Gabriel y RAMÍREZ, John, Op. cit. p. 31.

Hood afirma que:

El CO₂ que genera el ser humano no se queda en la atmósfera, sino que es absorbido por los océanos, las plantas y el suelo. En el caso de los océanos, el CO₂ aumenta la acidez del agua. Desde los tiempos pre-industriales, se ha calculado que el pH de las aguas marinas se ha reducido a nivel global en alrededor de 0,1 puntos. Con las emisiones de CO₂ actuales, las estimaciones apuntan a que el pH caerá entre 0,3 y 0,4 puntos adicionales para 2100.

Los corales, fitoplancton calcáreo, mejillones, caracoles, erizos de mar y otros organismos marinos utilizan calcio (Ca) y carbonato (CO₃) en agua de mar para construir sus conchas de carbonato de calcio (CaCO₃) o esqueletos. Como el pH disminuye, el carbonato se vuelve menos disponible, lo que hace más difícil formar el esqueleto a los organismos que secretan CaCO₃. Para los animales en general, incluyendo invertebrados y algunos peces, la acumulación de CO₂ y disminución de pH pueden provocar acidosis, o una acumulación de ácido carbónico en los líquidos del organismo. Esto puede conducir a la disminución de respuesta inmune, depresión metabólica, depresión conductual que afectan a la actividad física y la reproducción y la asfisia⁴³.

De acuerdo a Roldán y Ramírez “el equilibrio del CO₂ y del pH en el agua están influenciados por los procesos biológicos; así, si predomina la fotosíntesis disminuye el CO₂ y aumenta el pH; lo contrario ocurre con la respiración. El acuicultor debe conocer bien estos principios para obtener mejores rendimientos en sus cultivos; es por esto que los productores utilizan la cal con el fin de obtener una acción buffer en el agua”⁴⁴.

En sus diferentes estudios, Fivelstad *et al*⁴⁵ indica que los grupos expuestos a altos niveles de CO₂ presentan un peso final promedio, longitud y factor de condición reducidos en comparación con el grupo control respectivo. Hay una reducción pronunciada de la tasa de crecimiento, casi no hubo crecimiento en las concentraciones elevadas de dióxido de carbono.

Otro de sus estudios⁴⁶ indica un aumento significativo en la concentración de cortisol plasmático en el grupo de alta exposición de dióxido de carbono. La

⁴³ HOOD, María *et al*, Op. cit. p. Disponible en Internet: URL: <http://www.ocean-acidification.net/FAQeco.html>

⁴⁴ ROLDÁN, Gabriel y RAMÍREZ, John, Op. cit. p. 389.

⁴⁵ FIVELSTAD, S. *et al*. Impacts of elevated water carbon dioxide partial pressure at two temperatures on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr growth and haematology. Revista de Acuicultura El Sevier, Ámsterdam. Holanda Septentrional: Aquaculture (2007). Vol. 269. p. 245 (Citado 23 de Junio, 2011). Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848607004735>

⁴⁶ FIVELSTAD, S. *et al*. Effects of carbon dioxide on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at constant pH in bicarbonate rich freshwater. Revista de Acuicultura El Sevier, Ámsterdam. Holanda Septentrional: Aquaculture (1999). Vol. 178. p. 187 (Citado 18 Junio, 2011). Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848699001258>

frecuencia de la respiración del grupo de alta exposición se incrementó significativamente. No hubo diferencias significativas en la glucosa del plasma o los niveles de hemoglobina entre los grupos. Los niveles de Hematocrito en el grupo de alto CO₂ se incrementaron ligeramente después de 3 días y se incrementó significativamente después de 25 días, en comparación con el grupo control. Se observó nefrocalcinosis en smolts en todos los grupos expuestos al CO₂.

4.4.7 El CO₂ marino deforma los peces. El aumento de la concentración de dióxido de carbono en el agua puede afectar a la estructura del cuerpo de ciertos peces. Así lo han demostrado científicos de la Universidad de California en Estados Unidos.

Investigadores del Instituto de Oceanografía de la Universidad de California, en San Diego, han descubierto que, a pesar de lo que creían al principio del experimento, los peces de aguas más contaminadas por CO₂, desarrollan más los huesos de los oídos. Según el autor principal del estudio, David Checkley, “desconocemos hasta qué punto esto resulta perjudicial para el comportamiento o la supervivencia de los peces, pero las anomalías tienen el potencial de tener efectos nocivos”. El incremento atmosférico del CO₂ afecta también a las concentraciones de dióxido de carbono en los océanos⁴⁷.

Para Harrould:

La acidificación de los mares disminuye no sólo la capacidad de calcificar, sino que afecta también a otros procesos biológicos y fisiológicos. Estos impactos podrían incluir descensos en la tasa de crecimiento, disminución de la capacidad reproductiva y una mayor vulnerabilidad a la enfermedad, lo cual tendría un efecto dominó en las cadenas alimenticias y los ecosistemas. Funciones fisiológicas vitales, como la respiración y funciones del sistema nervioso también podrían verse afectadas por la acidificación. Además, ésta también provocaría cambios en el comportamiento de algunas especies⁴⁸.

Kita y Ohsumi afirman que:

Los posibles impactos biológicos causados por el CO₂ en el océano se pueden clasificar en agudos y crónicos. Los impactos agudos resultan con la supervivencia de los organismos marinos lo cual se determinó mediante

⁴⁷ GEO Una nueva visión del mundo (online). El CO₂ marino deforma los peces. Hamburgo, Alemania: GEO International, 2009 (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en Internet: URL: <http://www.mundo-geo.es/naturaleza/animales/el-co2-marino-deforma-los-peces>

⁴⁸ HARROULD, Ellycia y SAVITZ, Jacqueline. Acidificación. Como afecta el CO₂ a los océanos. Madrid, España: OCEANA. org., 2009. (Citado 10 Febrero 2012) Disponible en Internet: URL: www.ulp.edu.ar/ulp/VerLecturaMA.asp?LecturaMAID=108

experimentos de laboratorio, de campo y fueron evaluados por medio de modelos de simulación. Los impactos crónicos que indicaron efectos sub letales, son difíciles de verificar. Cuando los peces son expuestos a emisiones de CO₂ a partir de agua normocápnicos (exposición permanente), todos los peces murieron instantáneamente (100% de mortalidad); la mortalidad de los peces era sólo el 30% en un incremento escalonado de CO₂. Además de eso, el rápido retorno a la normocapnia causó un drástico aumento de la mortalidad. La hipótesis es que la muerte instantánea de los peces es por el aumento y disminución de la concentración de CO₂ causando una perturbación del sistema nervioso asociado con la acidosis y la alcalosis. La mortalidad bajo el incremento escalonado de CO₂ puede ser explicado por los mecanismos de compensación de la acidosis a través de la regulación ácido-base. Las respuestas del sistema nervioso se producen en una escala de tiempo en segundos, mientras que la regulación ácido-base es a través de mecanismos fisiológicos que requieren una escala de tiempo de minutos.

Por lo anterior, parece que la mayoría de los invertebrados carecen de la capacidad de regulación ácido-base para compensar la acidosis asociada con altas emisiones de CO₂, mientras que los peces (vertebrados) han establecido mecanismos de compensación⁴⁹.

4.4.8 Efecto Bohr y Root. Según W. Hill los efectos Bohr y Root se porque “elevadas tensiones ambientales de CO₂ incrementan las tensiones sanguíneas de CO₂, lo cual tiene considerable importancia en el transporte de oxígeno cuando el pigmento respiratorio muestra los efectos Bohr o Root. El descenso de la afinidad de oxígeno se conoce como Efecto Bohr, mientras que el descenso de la capacidad transportadora de Oxígeno se conoce como Efecto Root”⁵⁰.

Evans⁵¹ indica que “el efecto Root se detecta habitualmente en peces de aguas bien aireadas, y cuando se producen, se suman a los problemas causados por el efecto Bohr si se eleva la tensión de CO₂. De hecho, el efecto Root, es probablemente más peligroso que el efecto Bohr”. Por su parte Lagler señala que “un pez con solo efecto Bohr⁵² necesitará mayor tensión de oxígeno para la carga cuando las tensiones de CO₂ sean elevadas aunque la capacidad transportadora

⁴⁹ KITA, Jun y OHSUMI, Takashi. Biological impact assessment of direct CO₂ injection into the ocean. Kyoto, Japón: Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE) (Citado 9 Febrero 2012) Disponible en Internet: URL: <http://www.gulfcouncil.org/beta/gmfmcweb/Aquaculture/biol.%20impact%20of%20CO2.pdf>

⁵⁰ W. HILL, Richard. Fisiología animal comparada: un enfoque ambiental. Barcelona, España: Reverte, 1980. p. 569 - 570 (Citado 18 Noviembre 2011). Disponible en Internet: URL: http://books.google.com.co/books?id=w7aoEY-_48EC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

⁵¹EVANS, David y Claiborne, James. The Physiology of Fishes. Florida, United States: Taylor & Francis Group, 2006. p. 109.

⁵² LAGLER, Karl *et al.* Ictiología. México: AGT Editor, S.A., 1984. p. 227.

total de la sangre es la suficiente si las tensiones de oxígeno son lo bastante altas”. Mientras que para W. Hill “el efecto Root, por otro lado reduce la capacidad de transporte; la sangre no puede acarrear tanto oxígeno a elevadas tensiones de CO₂ como lo hace a bajas tensiones del mismo y a cualquier tensión de oxígeno”⁵³.

4.5 GENERALIDADES DE LA ESPECIE: SÁBALO AMAZÓNICO (*Brycon melanopterus*)

Según Castro⁵⁴, el sábalo es una especie promisoría para la acuicultura, por su crecimiento rápido, buena resistencia al manejo por sus hábitos omnívoros y demanda en el mercado. Es rústico y se adapta fácilmente hasta el punto de alcanzar un grado de madurez avanzado en condiciones de cautiverio. La especie se distribuye en toda la columna de agua, aprovechando el alimento tanto en la superficie como en la zona bentónica. Argumedo y Rojas, describen que:

En el medio natural el sábalo es un pez adaptado a ambientes acuáticos correntosos (Lóticos), por lo cual, su cuerpo tiene forma hidrodinámica que le permite remontar y saltar con facilidad; los mismos autores sostienen que esta especie es adaptable a policultivos con especies como bocachico (*Prochilodus nigricans*), cachama (*Piaractus brachypomus*), y tilapia roja (*Oreochromis sp*), siendo el sábalo la especie principal. Esta especie, al igual que las otras que conforman el género *Brycon*, es considerada de mucha importancia económica en la amazonia, y su carne es aprovechada por las comunidades indígenas y colonos⁵⁵.

4.5.1 Clasificación taxonómica. Según Zuluaga y Correa, citado por Palacios⁵⁶, la clasificación taxonómica del Sábalo Amazónico (Figura 1) es:

| | |
|------------|----------------|
| Reino: | Animal |
| Phylum: | Chordata |
| Subphylum: | Vertebrata |
| Clase: | Osteichthyes |
| Subclase: | Actinopterygii |
| Orden: | Characiformes |

⁵³ W. HILL, Richard, Op. cit., p. Disponible en Internet: URL: http://books.google.com.co/books?id=w7aoEY-48EC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

⁵⁴ CASTRO, Darío. Op. cit., p. 46.

⁵⁵ ARGUMEDO, Eric y ROJAS, Hector, Op. cit., p. 60.

⁵⁶ PALACIOS, Pedro José. Evaluación comparativa de dos estimulantes de crecimiento tipo probiótico y prebiótico en el levante y ceba del sábalo amazónico (*Brycon melanopterus* COPE, 1872). Pasto, 2007, p. 29. Trabajo de grado (Ingeniero en Producción Acuícola). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de Ingeniería en Producción Acuicola

| | |
|--------------------|---------------------------------------|
| Familia: | Characidae |
| Subfamilia: | Bryconidae |
| Género: | Brycon |
| Nombre científico: | <i>Bryconmelanopterus</i> Cope, 1872. |
| Nombre vernacular: | Sábalo amazónico (Colombia) |

Figura 1. Alevinos de Sábalo Amazónico (*Brycon melanopterus*)



Castro, citado por Palacios⁵⁷, menciona que el sábalo amazónico (*B. melanopterus*) es muy apetecido por los pescadores comerciales y deportivos de la zona alta del río Mocoa y hacen parte de la dieta de indígenas, campesinos y habitantes ribereños de la Amazonía Colombiana.

4.5.2 Distribución geográfica. El género *Brycon* agrupa cerca de 67 especies ampliamente distribuidas en América Neotropical, desde el sur de México hasta Argentina y desde los ríos de la costa pacífica de Colombia, Ecuador y Perú hasta el Pantanal del bosque inundado de Brasil. Girón, citado por Palacios⁵⁸, determina que el sábalo amazónico *B. melanopterus* se distribuye en los ríos de la cuenca Amazónica, llegando incluso a los afluentes del río Caquetá y Putumayo.

4.5.3 Características morfológicas externas. De acuerdo con Zuluaga y Correa, citados por Palacios:

Esta especie presenta cuerpo elongado y alto (altura 2,6 – 2,78 veces en la Longitud estándar - LS.), medianamente comprimido con escamas pequeñas; cabeza corta (cuatro veces en la LS) con perfil cóncavo y ojos pequeños.

⁵⁷ Ibid., p. 29.

⁵⁸ Ibid., p. 28.

Los mismos autores manifiestan que la coloración general del sábalo amazónico (*B. melanopterus*) es plateada, con dorso oscuro, una banda ancha sobre la base de la aleta anal (no sobre los radios), punto negro difuso sobre el pedúnculo caudal; mancha negra humeral; aleta caudal negra con los radios más externos rojizos; aleta adiposa naranja; primeros radios de la aleta anal rojizos; aleta pélvica y pectorales rojizas y aleta dorsal amarillenta. Se caracteriza por presentar 10 a 11 radios blandos en la aleta dorsal, 15 a 16 radios blandos en la aleta pectoral, ocho radios blandos en la aleta pélvica, de 23 a 27 radios blandos en la aleta anal y 23 a 24 radios en la aleta caudal. Sus aletas son oscuras; la línea lateral se inicia en la parte media del opérculo y tiene de 64 a 67 escamas, 14 escamas arriba de la línea lateral y 12 debajo de la misma. La longitud de la cabeza se encuentra en una relación de 1,0:5,0 respecto a la longitud estándar y su profundidad está en una proporción de 1,0:3,5 con relación a la misma⁵⁹.

4.5.4 Características internas. Castelló indica que:

- **Branquias:** Las branquias son un órgano plurifuncional dedicado a la respiración, osmoregulación, excreción e intercambio ácido – base⁶⁰. En teleósteos la branquia presenta 4 pares de arcos con 2 hileras de filamentos en cada arco separadas por el septo branquial, cada filamento dando soporte a las laminillas respiratorias. Los filamentos están recubiertos de tejido epitelial siendo los tipos celulares más característicos las células caliciformes (secretoras de mucus). Las laminillas respiratorias están formadas por células pilar que delimitan los espacios vasculares. El intercambio de gases del medio interno al medio externo se realiza a través del fino epitelio de sólo dos capas de grosor.

La sintomatología clínica de la enfermedad de la branquia viene caracterizada por un aumento de la frecuencia opercular, de la producción de mucus, de la pigmentación de la piel y por cambios en el comportamiento general del pez. Se observa en las lesiones agudas, vacuolización celular con pérdida de microelongaciones, congestión capilar, aumento de mucus y edema (separación del epitelio de la lámina basal y aumento de los espacios linfoides). En casos extremos puede haber necrosis. Las respuestas crónicas son bastantes inespecíficas, observándose hiperplasia de las células mucosas e hiperplasia de las laminillas con obliteración de los espacios interlamelares. Se ha descrito hiperplasia branquial y fusión lamelar como respuesta a disfunciones nutricionales, infecciones bacterianas y amebas⁶¹.

- **Riñón:** Se localiza retroperitonealmente y está formado por tejido hematopoyético y linfóide en el riñón anterior y posterior, con nefronas en el riñón posterior. Consta de elementos endocrinos como la glándula interrenal

⁵⁹ Ibid., p. 29.

⁶⁰ CASTELLÓ, Francisco, Op. cit., p. 576.

⁶¹ Ibid., p. 576.

(equivalente al cortex adrenal), el tejido cromafín (equivalente a la médula adrenal), y los corpúsculos de Stannius que intervienen en la regulación del calcio. Revisten gran importancia los melanomacrófagos que se presentan a menudo asociados para formar centros.

El riñón es el órgano diana en muchas enfermedades debido a su gran afinidad por los antígenos circulantes particulados y a su gran irrigación. Sin embargo las lesiones renales no son tan graves, ya que la mayoría de las funciones excretoras y osmoreguladoras del riñón van a cargo de las branquias e intestino en Teleósteos.

Las enfermedades más comunes que afectan al riñón son la nefrocalcinosis, la granulomatosis crónica, el BKD (“Bacterial Kidney Disease” o enfermedad bacteriana del riñón), el PKD (“Proliferative Kidney Disease” o enfermedad proliferativa del riñón), la IHN (Necrosis hematopoyética infecciosa) y la VHS (Septicemia hemorrágica viral)⁶².

- **Sistema circulatorio de los peces:** Según Vegas:

En los peces, la circulación sanguínea está muy estrechamente ligada a la respiración, siendo los glóbulos rojos y el pigmento que contienen (la hemoglobina), los que distribuyen el oxígeno por todo el cuerpo. La hemoglobina es un componente complejo constituido por proteína y un compuesto férrico no proteínico, fácilmente oxidable. Por tal motivo la cantidad de glóbulos rojos determina la proporción de hierro contenido en la sangre. Se deduce que en los nadadores rápidos, como los atunes, tienen gran cantidad de estos, mientras que en nadadores lentos, como el rape, su proporción es menor⁶³.

La sangre circula dentro de un sistema cerrado y en ella van transportadas sustancias nutritivas, hormonas, residuos metabólicos, oxígeno y gas carbónico. La impulsión de la sangre por el sistema circulatorio se realiza mediante el corazón. Este se divide en dos partes, una aurícula y un ventrículo, siendo este último de paredes gruesas y contrayéndose regularmente al recibir la sangre de la aorta central, la cual se subdivide y aprovisiona a las branquias, que es donde se oxigena la sangre. Una vez oxigenada la sangre se distribuye a los diferentes órganos, siendo principalmente transportada a través de la aorta dorsal desde la cabeza hasta la cola.

En la cabeza existe un sistema autónomo de arterias carótidas. Una vez que la sangre atraviesa los órganos, musculatura, etc. donde se desprende del oxígeno, retorna a la aurícula por el sistema venoso. El retorno al corazón se realiza por venas cardinales pares, anteriores y posteriores, las cuales forman antes de llegar al corazón una cámara denominada canal de Cuvier, tanto a la derecha

⁶² Ibid., p. 577.

⁶³ VEGAS, Manuel. Ictiología. Cali, Colombia: Universidad del Valle, 1977. p. 91

como a la izquierda. La sangre desprovista del oxígeno y retornada a la aurícula, pasa al ventrículo, donde comienza de nuevo el proceso⁶⁴.

4.5.5 Hábitos alimenticios. Según Palacios, “los hábitos alimenticios del sábalo amazónico (*B. melanopterus*) son omnívoros, con base a las características de un sistema digestivo que asimila tanto alimentos vegetales como animales”⁶⁵.

Para Argumedo y Rojas, “el sábalo es un pez omnívoro de gran voracidad, encontrándose en su contenido estomacal frutos, semillas, restos vegetales, insectos, arácnidos, crustáceos y peces entre otros. En sus estadios tempranos tiende al canibalismo, por lo que requiere sembrar peces de igual tamaño”⁶⁶.

4.5.6 Calidad de agua. Según Arias⁶⁷, para especies del género *Brycon*, los parámetros físico-químicos para el agua de cultivo son:

Tabla 1. Parámetros físico químicos del agua

| Parámetro | Rango |
|-----------------------|---------|
| Temperatura °C | 25 – 30 |
| Oxígeno disuelto mg/L | >3 |
| Amonio | 0 |
| pH | 6 – 8 |
| Alcalinidad | 17.1 |
| Dureza | 17.1 |

Fuente: Arias, José. Biología reproductiva del yamú en cautiverio

Rodríguez y Anzola manifiestan que “la calidad del agua está dada por el conjunto de propiedades físicas y químicas y su interacción con los organismos. Cualquier característica que afecte de un modo u otro el comportamiento, la reproducción, el crecimiento, la productividad primaria y el manejo de las especies acuáticas es una variable de la calidad del agua”⁶⁸. Estas propiedades pueden ser calificadas como parámetros físicos y químicos así:

- **Temperatura:** Los peces son animales poiquilotermos (su temperatura corporal depende de la temperatura del agua) y altamente termofílicos

⁶⁴ Ibid., p. 93.

⁶⁵ PALACIOS, Op. cit., p. 35.

⁶⁶ ARGUMEDO, Eric y ROJAS, Hector. , Op. cit., p. 61.

⁶⁷ ARIAS, José. Biología reproductiva del yamú (*Brycon siebenthalae*) en cautiverio. Trabajo de grado (Doctor en ciencias), Santiago de Cali; Universidad del Valle. Facultad de ciencias, 2002. p. 59.

⁶⁸ RODRÍGUEZ, Horacio y ANZOLA, Eduardo. Calidad del agua en acuicultura continental. Bogotá, Colombia: Instituto nacional de pesca y acuicultura (INPA). 1995. p. 87– 93

(sensibles a los cambios de temperatura). El rango óptimo de temperatura para cultivo en especies nativas amazónicas es de 24 - 32 °C. Los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, mientras mayor sea la temperatura, mayor tasa metabólica y por ende mayor consumo de oxígeno.

- **Oxígeno:** Bernales indica que “es el requerimiento más importante, al igual que la temperatura para el cultivo de las especies hidrobiológicas. Su grado de saturación es inversamente proporcional a la altitud y directamente proporcional a la temperatura y el pH. El rango óptimo para especies de aguas cálidas está por encima de 4 ppm”⁶⁹.
- **Amonio:** Es un producto de la excreción de los peces y de la descomposición de materia orgánica (degradación de materia vegetal). Los valores de amonio deben fluctuar entre 0.01 ppm a 0.015 ppm.
- **pH:** Es la concentración de iones hidrógeno en el agua. El rango óptimo esta entre 6.5 - 8.0, valores por debajo o por encima, causan cambios de comportamiento en los peces como letargia, inapetencia, disminución de su crecimiento.
Timmons señala que “la exposición a un pH extremo puede ser estresante o letal, pero lo más importante en acuicultura son los efectos indirectos resultantes de las interacciones del pH con otras variables. El pH controla una amplia variedad de reacciones de equilibrio y solubilidad, de las cuales la más importante es la relación entre la forma no ionizada y la ionizada del amoniaco y los nitritos”⁷⁰.
- **Alcalinidad:** Es la concentración de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos en el agua. Los valores de alcalinidad y dureza son aproximadamente iguales. Para Timmons “las concentraciones necesarias de alcalinidad están ligadas directamente al pH del sistema y a las concentraciones de dióxido de carbono”⁷¹.
- **Dureza:** Es la medida de la concentración de los iones de calcio y magnesio expresados en ppm de su equivalente a carbonato de calcio. Según Timmons, “la dureza total de las aguas naturales varía desde menos de 5 a más de 10.000 mg/L CaCO₃. Las aguas han sido clasificadas en blandas (0

⁶⁹ BERNALES, Jorge. Piscicultura con especies nativas amazónicas. Lima, Perú: Tratado de cooperación amazónica (TCA). p. 41.

⁷⁰ TIMMONS, Michael *et al*, Op. cit., p. 34.

⁷¹ *Ibid.*, p. 35.

– 75 mg/L), moderadamente duras (75 – 150 mg/L), duras (150 – 300 mg/L) o muy duras (> 300 mg/L)”⁷².

- **Dióxido de carbono:** Es un producto de la actividad biológica y metabólica, su concentración depende de la fotosíntesis. Debe mantenerse en un nivel inferior a 20 ppm porque cuando sobrepasa este valor se presenta letargia e inapetencia.
- **Nitritos:** Son un parámetro de vital importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante. Se generan en el proceso de transformación del amoníaco a nitratos y su toxicidad depende de la cantidad de cloruros, de la temperatura y de la concentración de oxígeno en el agua. Timmons indica que “el nitrito es tóxico porque afecta la habilidad de la hemoglobina de la sangre para transportar oxígeno”⁷³.
- **Niveles de CO₂ recomendados.** Según González *et al*⁷⁴, se requiere que las fuentes de agua para producción piscícola contengan de 0 – 2 mg/L. En tanto que altos niveles interfieren con la fisiología reproductiva y pueden provocar acidosis en la sangre. Este elemento (CO₂) es producido en los estanques de cultivo durante la respiración de los organismos y es consumido mediante la fotosíntesis en donde la productividad primaria juega un papel importante, así mismo en sistemas de recirculación la producción de CO₂ se da por la respiración de los peces y microorganismos; por lo que se obtienen bajas concentraciones durante el día y altas por la noche. Esto crea variaciones del pH, debido a la relación que existe entre éste y las concentraciones de dióxido de carbono.

El nivel óptimo de CO₂ disuelto en recinto acuícola es de 15-20 ppm. Algunas referencias indican que niveles por encima de 25 causan efectos perjudiciales a los peces⁷⁵.

De acuerdo con Arredondo “Los peces pueden percibir pequeñas diferencias de concentración de anhídrido carbónico y aparentemente evitan las áreas con altos contenidos de este gas; la mayoría de los peces sobreviven por períodos cortos en aguas que contienen hasta 60 mg/L, siempre y cuando los niveles de oxígeno disuelto sean elevados. Así mismo concentraciones de CO₂ entre 2 – 10 mg/L se

⁷² Ibid., p. 36.

⁷³ Ibid., p. 33.

⁷⁴ GONZÁLEZ, Raúl *et al*. Evaluación de la calidad del agua y su influencia en el cultivo de la Tilapia. La Habana, Cuba (Citado el 10 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://www.vet-uy.com/articulos/piscicultura/050/020/pec020.htm>

⁷⁵ Ibid., p. Disponible en Internet: URL: <http://faq.thekrib.com/es/plantas-pr.html#co2>

consideran niveles adecuados para producciones intensivas de peces⁷⁶. Los niveles de CO₂ recomendables para las especies de cultivo son: para trucha debe mantenerse en un nivel inferior a 2 mg/L⁷⁷, según Blanco⁷⁸ los niveles tolerables pueden estar entre 12 – 18 mg/L en las piscifactorías intensivas con recirculación, pero puede soportar hasta un nivel menor de 20 mg/L⁷⁹; para tilapia debe mantenerse en un nivel inferior a 20 ppm, porque cuando sobrepasa este valor se presenta letargia e inapetencia⁸⁰.

4.5.7 Alimento y alimentación. De acuerdo con Zaniboni y Reynalte “en condiciones generales de cultivo los bricónidos consumen y aceptan bien la ración peletizada. Esta característica es bastante importante en el uso de sistemas de cultivo intensivo, permitiendo elevadas tasas de densidad y de alimentación diaria, por lo cual son especies indicadas para engorde en jaulas⁸¹”.

A los alevinos se le puede suministrar alimento balanceado comercial en polvo para peces del 32 al 45% de proteína bruta. La ración del alimento concentrado es de 1 g/m² y de 2 a 3 g/m² de forma diaria hasta el final del alevinaje; se recomienda dos horarios (8 a 9 am y 2 a 3 pm).

Casas y Mojica señalan que “el esquema para el manejo de la alimentación más utilizado en las estaciones productoras de alevinos es alimentar seis días a la semana en cantidad correspondiente al 2 o 3% de la biomasa. Con ingredientes, como: harina de soya tostada, harina de maíz, harina de trigo y harina de pescado, mostraron que los dos primeros permiten los mayores valores de digestibilidad⁸²”.

⁷⁶ ARREDONDO, José y PONCE, Jesús. Calidad del agua en acuicultura conceptos y aplicaciones. México: A.G.T Editor, 1998. p. 58.

⁷⁷ AQUINO, Guillermo. Manual básico para el cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Oaxaca, México (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en Internet: URL: <http://acuiculturamundial.blogspot.com/2009/11/manual-basico-para-cultivo-de-trucha.html>

⁷⁸ BLANCO, Carmen. La Trucha. Cría Industrial. España: Mundi- Prensa, 1994. p. 80

⁷⁹ TIMMONS, Michael *et al*, Op. cit., p. 38.

⁸⁰ ALICOR S.A. Manual de crianza de Tilapia. Argentina (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en internet: URL: www.fiagro.org.sv/archivos/0/356.doc

⁸¹ ZANIBONI, Evoy, REYNALTE, David y WEINGARTNER, Marcos. Potencialidad del género Brycon en la piscicultura brasileña. Medellín, Colombia: Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, Abril – Junio 2006 (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en Internet: URL: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-06902006000200017&script=sci_arttext

⁸² CASAS, Harold y MOJICA, Hermes. Larvicultura y alevinaje del yamú (*Brycon siebenthalae*) en estanques abonados y con el uso de un suplemento alimenticio. Estación piscícola La Terraza – INPA – Villavicencio – Meta. 2003

5. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se realizó en la Estación Piscícola Aquamazonía (Figura 2), ubicada en la vereda La Paz, kilómetro 32 vía Villagarzón – Puerto Asís, departamento del Putumayo, la cual presenta las siguientes características: coordenadas geográficas 00° 55' 13"N y 76° 35' 23" W, altura 365 m.s.n.m, temperatura ambiente 27°C y precipitación de 4.500 mm anual. La estación piscícola, dentro de su infraestructura tiene un espejo de agua de 15 Ha, distribuido para: reproductores, larvicultura, alevinaje, pre-cría, levante y ceba de diferentes especies ícticas; además cuenta con un laboratorio para reproducción, incubación y larvicultura.

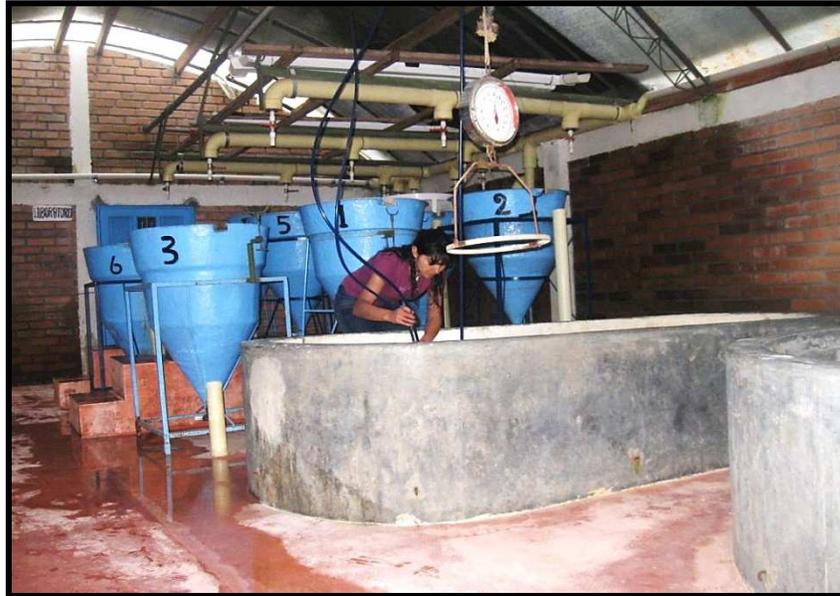
Figura 2. Estación Piscícola Aquamazonía



5.2 INFRAESTRUCTURA

El laboratorio de reproducción (Figura 3), tiene un área de 60 m², donde están ubicados 2 canaletas de 2 m de largo x 0.6 cm de ancho, un tanque circular de 2 m de diámetro y 12 incubadoras tipo Woynarovich. En este laboratorio se instaló un estante metálico con capacidad de 12 acuarios, que representaron las unidades experimentales de esta investigación, además se hicieron las instalaciones de aire, electricidad, agua y CO₂ necesarias para su funcionamiento.

Figura 3. Laboratorio de Reproducción, incubación y larvicultura.



5.3 PERIODO DE ESTUDIO

El trabajo de campo, tuvo una duración de 6 meses durante este tiempo se realizaron las siguientes actividades:

- Adecuación del lugar: Se evaluó el lugar donde se ubicaría el estante metálico con los acuarios, ya que era necesario realizar conexiones eléctricas y de aire.
- Construcción de acuarios: Para esto se utilizó vidrio de 5 mm de grosor, el cual fue cortado para elaborar los acuarios de 50 cm de largo por 30 cm de alto por 30 cm de ancho. Los vidrios fueron pegados con silicona; se desinfectaron y luego los acuarios fueron ubicados en el estante metálico. Aquí se dotó a cada unidad experimental de: un filtro sumergible (guata, carbón activado y gravilla), una piedra difusora, un termostato y una cubierta plástica.
- Montaje del Sistema de CO₂: Para montar el sistema de alimentación de CO₂ fue conveniente elaborar una flauta de llaves las cuales ayudaron a graduar el paso del gas a los acuarios. Esta flauta fue ajustada al cilindro de CO₂ el cual fue ubicado invertido para garantizar la salida del gas; a este se le instaló una válvula reguladora de presión de CO₂, para controlar la salida del CO₂.

Durante 80 días se les realizó la evaluación y monitoreo de los peces de cada tratamiento así mismo las diferentes actividades de alimentación, muestreos, recambios, desinfección y control.

5.4 MATERIAL BIOLÓGICO

Para este estudio se utilizaron 240 alevinos de sábalo amazónico (*Brycon melanopterus*) (Figura 4), con una edad de 30 días, un peso promedio de $1,03 \text{ g} \pm 0,16$ y una talla promedio de $3,76 \text{ cm} \pm 0,19$, dichos ejemplares se obtuvieron de la Estación Piscícola Aquamazonía.

Los alevinos fueron cosechados en las primeras horas de la mañana para evitar estrés, para esto se utilizó chinchorro con un ojo de malla de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Los animales se depositaron en bolsas plásticas para transportarlos hasta el laboratorio en donde fueron aclimatados y se les realizó un baño profiláctico; luego se seleccionaron y sembraron al azar en los acuarios de cada tratamiento.

Figura 4. Alevinos de Sábalo amazónico empleados en este estudio.



5.5 UNIDADES EXPERIMENTALES

Se instalaron 12 acuarios de vidrio de 50 cm de largo por 30 cm de alto por 30 cm de ancho para una capacidad total de 45 L, los cuales se ubicaron en un estante metálico de 4 niveles.

Cada unidad experimental, se dotó de un filtro sumergible, una piedra difusora por la cual se inyectó el CO_2 , un termostato para graduar la temperatura del agua a 26°C y una cubierta plástica para disminuir las pérdidas por evaporación como se observa en la Figura 5.

Figura 5. Estante con acuarios utilizados en la investigación



5.6 SISTEMA DE INYECCIÓN DE CO₂

Se instaló un sistema de inyección de CO₂ el cual estuvo conformado por un cilindro de CO₂ ubicado de forma invertida con el propósito de garantizar la salida del dióxido de carbono, de igual forma se instaló una válvula de caudal, que regulaba la cantidad y presión de salida, además se adaptó una flauta de llaves que permitieron restringir el suministro de CO₂ a cada uno de los acuarios a través de mangueras de calibre 3/8", la cantidad de CO₂ se reguló con las llaves de paso. (Figura 6)

Figura 6. Cilindro de CO₂ y Flauta de Llaves



5.7 MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS

A continuación se presenta una relación de los diferentes elementos utilizados para esta investigación.

5.7.1 Materiales

- **Nasas:** Red de pesca que se utilizó para atrapar a los animales.
- **Piedras difusoras:** Piedra porosa, de 5 cm de largo, poro mediano, para aireación e inyección de CO₂ y aire.
- **Manguera plástica:** Manguera de 3/8" de diámetro, que se utilizó en la conexión entre los inyectores de CO₂, acuario y aireadores.
- **Llaves para acuario:** Se utilizaron para regular el aire del sistema.
- **Tees:** Se emplearon para regulación de aireación.
- **Bureta:** Tubo largo, de 25 ml, provistas de una llave en su parte inferior. Se usaron para verter cantidades variables de hidróxido de sodio para la titulación.
- **Erlenmeyer:** Frasco transparente, de forma cónica de 250 ml se usó para mezclar el agua con los reactivos de titulación.
- **Cubierta plástica:** Cubierta de cada acuario para evitar pérdidas de agua por evaporación, conservar temperatura y evitar que los animales salten fuera del acuario.
- **Jeringa:** Se utilizaron para la toma de muestras de agua y de sangre.
- **Guata:** Lámina gruesa de algodón en rama que se utilizó en el biofiltro.
- **Baldes Plásticos:** Se utilizaron para el manejo y profilaxis de los sábalos.
- **Vasos plásticos:** Se emplearon para depositar el alimento de los sábalos por acuario.
- **Tubos Vacutainer (color lila):** Se utilizaron para depositar las muestras de sangre.
- **Tubos capilares (Vitrex):** Se utilizaron en la centrifugación de las muestras de sangre.
- **Contador de glóbulos rojos:** Se utilizó para cuantificar células sanguíneas, como los glóbulos rojos.
- **Válvula:** Se utilizó para regular el CO₂.
- **Flauta de llaves:** Empleado para distribuir y regular el dióxido de carbono
- **Cilindro de CO₂:** Recipiente contenedor del gas CO₂ a 700 PSI.
- **Estante metálico:** Soporte metálico donde se ubicó los acuarios.
- **Acuarios:** Unidades experimentales de vidrio de 5 mm de grosor.
- **Recipientes plásticos:** envase de 30 ml utilizados para el manejo de muestras biológicas.
- **Chinchorro:** Malla con un ojo de ¾ de pulgada, para capturar alevinos.

5.7.2 Equipos

- **Balanza (EK5055):** Instrumento de medición que se empleó para pesar animales e insumos con una precisión de 0,1 g .
- **Cámara digital (Canon PowerShot A590IS):** Con la que se capturó y almacenó el seguimiento fotográfico de la investigación.
- **Aireador de doble salida (ACD 6602 de doble salida):** Introdujo el aire del ambiente en el agua del acuario.
- **Oxímetro (YSI 550):** Sistema para medición simultánea de OD y temperatura con el que se hizo el seguimiento de los cambios de O₂ en los tratamientos, con una precisión de 0,01 mg/l.
- **Computador (DELL INSIRON 1525):** Sirvió para procesar datos y convertirlos en información útil.
- **Ictiómetro:** Permitió cuantificar la longitud de los peces, con una precisión de 0,1 cm.
- **Biofiltro:** Filtro con capas de distintos materiales, por las cuales pasó el agua a tratar, con este se controló la generación de sólidos y amonio.
- **Termostato (Sobo Amazon):** Aparato que reguló la temperatura del agua de 40 vatios.
- **pHmetro (PH-222):** Sirve para la medición del pH del agua. Ayudó a controlar el equilibrio ácido/base en los diferentes acuarios.
- **Cámara de Neubauer (Boeco):** Se utilizó para el conteo de las células sanguíneas.
- **Micro centrifuga (MLW TH 12):** Instrumento que se utilizó en la técnica del hematocrito.
- **Equipo de disección:** Elementos utilizados para obtención de órganos.

5.7.3 Insumos

- **Balanceado (32% proteína):** Alimento comercial, se usó para la alimentación de peces.
- **Fenolftaleína:** Compuesto químico que se utilizó como indicador en la titulación.
- **Hidróxido de sodio:** O soda cáustica, es un compuesto inorgánico formado por un hidroxilo y un radical. Se utilizó la solución diluida 0.0227N en la titulación.
- **Permanganato de potasio:** Es una sal utilizada para la desinfección, se empleó para realizar profilaxis.
- **Hiposulfito de sodio:** Químico que se utilizó para declorinar el agua.
- **Carbón Activado:** Retiene sustancias indeseadas para el acuario, ya que posee una gran cantidad de microporos que le confieren una inmensa área superficial y su alto poder adsorbente, fue utilizado en el biofiltro.
- **Quinaldina:** Anestésico utilizado para la manipulación de los animales.
- **EDTA:** Anticoagulante que se adicionó a las muestras de sangre de los peces.

- **Suero Fisiológico:** Se utilizó para mezclar con las muestras de sangre y hacer el conteo celular.
- **Silicona:** Se empleó para la construcción de acuarios.

5.8 PLAN DE MANEJO

5.8.1 Lavado y desinfección. Los acuarios, nasas, filtros, mangueras y las piedras difusoras, se lavaron y desinfectaron con una solución de permanganato de potasio a 20 ppm (Figura 7).

Figura 7. Lavado y desinfección de acuarios



5.8.2 Montaje del sistema. Se ubicaron en cada nivel del estante metálico, 3 acuarios con sus respectivos, termostatos, línea de aire, línea de CO₂, cubierta plástica y biofiltros los cuales estuvieron conectados a través de una manguera a una de las salidas de los aireadores

El cilindro de CO₂ se conectó mediante la flauta de llaves a través de mangueras las cuales se introdujeron a cada uno de los acuarios.

5.8.3 Dosificación de CO₂. Se dosificó el CO₂ a través de llaves (Figura 8), las cuales se conectaron al sistema que une el acuario al cilindro de acuerdo a los niveles requeridos por esta investigación; para el control de este gas se midió a través de titulación.

Figura 8. Llaves dosificadoras de CO₂



5.8.4 Siembra de animales. Los alevinos una vez aclimatados y realizado un baño con permanganato de potasio a una concentración de 10 ppm durante 5 minutos, se seleccionaron y sembraron al azar en cada unidad experimental a una densidad de 20 individuos por acuario.

5.8.5 Alimento y Alimentación. Se suministró balanceado comercial al 32% de proteína bruta, repartida en 3 comidas diarias a las 8 am, 12 m y 3 pm, la ración se calculó al 2% de la biomasa y se ajustó cada 5 días.

5.8.6 Muestreos. Se realizaron muestreos del 25% de la población cada 5 días; se midió el peso en gramos con una balanza de una precisión de 0,1 g; y para la talla en cm se utilizó un ictiómetro con una precisión de 0,1 cm. Antes del muestreo los animales se sometieron a un ayuno de 24 horas; para disminuir el estrés ocasionado, se tranquilizaron con quinaldina a una concentración de 10 ppm; posterior al muestreo se les realizó un baño con permanganato de potasio a una concentración de 10 ppm durante 5 minutos, como tratamiento profiláctico (Figura 9).

Figura 9. Muestreo de animales (Talla y Peso)



5.8.7 Filtración de agua. La estación cuenta con un filtro de una capacidad de 400 L/min, el cual está dividido en 3 cámaras de 1 m³ cada una; la primera cámara contiene material proveniente de trituración de agregados de la región, el cual sirve para remoción de sólidos así mismo sirve como fuente de carbonatos de calcio que generan una reacción buffer para mantener estable el pH del agua; la segunda cámara contiene carbón activado para eliminar elementos químicos; y la última cámara contiene zeolita que permite la remoción de metales pesados, que eventualmente se han identificado en la fuente de agua que abastece la estación como fruto del tipo de suelo y las actividades de minería.

5.8.8 Recambios de agua. Se realizaron recambios del 20% del volumen total del agua de cada acuario pasando un día, con ayuda de una manguera se sifoneó el fondo de cada unidad experimental, para eliminar los sedimentos. El biofiltro (guata, carbón activado y gravilla) de cada acuario se reemplazó en un 80% cada 5 días.

5.8.9 Toma de Parámetros Físico – Químicos. Los parámetros registrados fueron: temperatura, pH, oxígeno, alcalinidad, amonio y CO₂, y se tomaron con la siguiente frecuencia:

Tabla 2. Frecuencia de toma de parámetros

| Parámetro | Frecuencia diaria | Frecuencia semanal | Frecuencia mensual | Frecuencia estudio |
|----------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Temperatura ⁸³ | 2 | 14 | 56 | 112 |
| Oxígeno disuelto ⁸⁴ | 4 | 28 | 112 | 224 |
| Dióxido de Carbono ⁸⁵ | 4 | 28 | 112 | 224 |
| pH ⁸⁶ | 4 | 28 | 112 | 224 |
| Alcalinidad ⁸⁷ | - | 1 | 4 | 32 |
| Amonio ⁸⁸ | - | 1 | 4 | 32 |

La medición de estos parámetros se realizó en el siguiente horario:

Tabla 3. Horario de toma de parámetros

| Parámetro | Horario |
|--------------------|----------------------------|
| Temperatura | 8 am – 8pm |
| Oxígeno disuelto | 5 am – 10 am – 3 pm – 8 pm |
| Dióxido de Carbono | 5 am – 10 am – 3 pm – 8 pm |
| pH | 5 am – 10 am – 3 pm – 8 pm |
| Alcalinidad | 8 pm |
| Amonio | 8pm |

Estos parámetros físico-químicos fueron medidos de la siguiente manera:

- **Temperatura:** Este parámetro se midió mediante el oxímetro y termómetro
- **Oxígeno disuelto:** Fue medido con ayuda del oxímetro
- **pH:** Parámetro medido con un pH-metro
- **Alcalinidad:** Se utilizó la técnica de Alcalinidad descrita por Arredondo y Ponce⁸⁹, por lo que se tomó 50 ml de la muestra y se colocó en un matraz de 250 ml, luego se agregó 1 gota de fenolftaleína, como no hay coloración se

⁸³ APHA, AWWA, WPCF. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. 17. Madrid, España: Diaz de Santos, 1989. p. 2-88.

⁸⁴ Ibid., p. 4 - 179

⁸⁵ Ibid., p. 4 – 21

⁸⁶ Ibid., p. 4 - 107

⁸⁷ Ibid., p. 2 - 39

⁸⁸ Ibid., p. 4 -126

⁸⁹ ARREDONDO, José y PONCE, Jesús. , Op. cit., p. 58.

agregó 4 gotas de anaranjado de metilo y se tituló con el ácido sulfúrico 0.02 N, hasta que la solución cambió de color anaranjado a un color mamey. Se anotaron los mililitros gastados en la titulación y se realizó el cálculo de alcalinidad mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Alcalinidad } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ de } \text{CaCO}_3 \right) = \frac{(\text{ml gastados})(N)(50000)}{\text{Volumen de la muestra en ml}}$$

- **Amonio:** Se realizó el análisis por colorimetría, mediante un kit de amonio.
- **CO₂:** Se aplicó la técnica de dióxido de carbono descrita por Arredondo y Ponce⁹⁰, en donde se tomó 50 ml de la muestra y se colocó en un matraz de 250 ml. Luego se agregó 2 gotas de fenolftaleína, a la muestra incolora se la tituló con una solución de hidróxido de sodio 0.0227 N. Se agregó esta solución gota a gota hasta que aparezca un color rosa permanente. Se anotaron los mililitros gastados en la titulación y se realizó el cálculo de CO₂ mediante la siguiente fórmula:

$$\text{CO}_2 (\text{mg/L}) = \frac{(\text{ml gastados})(N)(44000)}{\text{Volumen de la muestra en ml}}$$

5.8.10 Mortalidad. Diariamente, se registró el número de animales muertos que se encontraron en cada unidad experimental.

Para corroborar los resultados obtenidos en esta investigación y observar los efectos del CO₂, se realizó un análisis de los tejidos branquias y riñón y un análisis de sangre, para esto se siguió la metodología presentada a continuación:

- **Branquias y Riñón:** Para esto se sacrificaron 4 animales por cada tratamiento, a cada uno se les realizó una disección.

Para obtener las branquias se removió el opérculo; el arco branquial fue separado con unas tijeras y las branquias se colocaron en recipientes plásticos llenos con Formol al 10% buferado.

Luego, para sacar el riñón se movió la vejiga natatoria y se extrajo el riñón de la pared superior del animal, el cual se depositó en los respectivos recipientes.

Los tejidos fueron colocados en parafina, cortados y teñidos con hematoxilina y eosina para su posterior observación al microscopio. Las branquias se examinaron en busca de lesiones histomorfológicas en general. Los riñones fueron revisados para encontrar posibles yacimientos minerales, es decir, nefrocalcinosis.

⁹⁰ Ibid., p. 62.

Los resultados obtenidos de este análisis se los puede observar en el Anexo A.

- **Sangre:** Se realizó un recuento de las células sanguíneas con el fin de estimar el déficit o aumento de éstas.

La muestra de sangre fue tomada de los animales, que previamente fueron tranquilizados, seguidamente, se secó la superficie del pez con una toalla de papel y se realizó una punción, con una jeringa de insulina, con un ángulo de inclinación de 40°, en el pedúnculo caudal sobre la línea lateral y se extrajo la muestra de sangre. Una parte de la sangre obtenida se colocó sobre un portaobjeto limpio en donde se realizó el frotis y la Coloración de Wright. Se realizó el conteo de células sanguíneas, a través del microscopio, hasta un número de 100, diferenciando cada una de ellas.

Así mismo se depositó muestras de sangre en tubos Vacutainer, para realizar la técnica del Hematocrito y Cámara de Neubauer.

Para el Hematocrito la sangre se centrifugó en una Micro centrífuga en la cual se colocó los tubos capilares, que contenían la sangre de cada uno de los tratamientos, luego el hematocrito fue medido en la Tabla para lectura de Microhematocritos.

Para el conteo de glóbulos rojos se utilizó la cámara de Neubauer, para esto se tomó sangre de los tubos Vacutainer con la ayuda de la pipeta de glóbulos rojos hasta 0,5, se limpió el exceso. Luego se llenó hasta 101 con una solución salina y se agitó por 1 minuto. Sobre la cámara de Neubauer se colocó un cubreobjeto; luego se dejó caer alrededor de 4 gotas de la mezcla sobre una servilleta y la quinta gota fue depositada en la ranura de la cámara de Neubauer, la cual entró por capilaridad a la cámara. El área se delimitó por 5 cuadrantes, los cuales se los diferenció con A, B, C, D y E; el conteo únicamente se realizó a aquellas células que se encontraban dentro de estos cuadrantes, fuera de estos o sobre las líneas límite no se tomaron en cuenta.

Después de realizado el conteo, para obtener el Total de Células se aplicó la siguiente fórmula, según laboratorios Brand⁹¹:

$$\text{Células/ml} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de células}}{\text{N}^\circ \text{ de cuadrantes}} \times 50750$$

Los resultados obtenidos de este análisis se los puede observar en el Anexo B.

⁹¹ LABORATORIOS BRAND. Cámaras de recuento. Alemania: Brand GMBH (Citado 24 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://www.brand.de/es/productos/laboratorio-clinico/camaras-de-recuento/>

5.9 TRATAMIENTOS

Se evaluaron 4 tratamientos, con diferentes niveles de CO₂, cada uno con tres réplicas para un total de 12 unidades experimentales, de la siguiente manera:

- T0 = Testigo, sin adición de CO₂
- T1 = Tratamiento con inyección de CO₂ hasta 20 mg/L
- T2 = Tratamiento con inyección de CO₂ hasta 30 mg/L
- T3 = Tratamiento con inyección de CO₂ hasta 40 mg/L

5.10 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de las diferentes variables se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con sub muestreo, según el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} + \eta_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = respuesta de la j - ésima unidad experimental que recibe el i - ésimo tratamiento.

μ = media

i = efecto del i ésimo tratamiento.

i = tratamiento 0, 1, 2 y 3.

j = réplica 1, 2 y 3

ε = error experimental asociado a la j – ésima unidad experimental sometida al i - ésimo tratamiento.

η = error de muestreo

Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA), para detectar diferencias estadísticas significativas y se realizaron las pruebas de comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad, para las variables que registraron significancia entre tratamientos. Esto para aquellas variables que cumplieron con los supuestos estadísticos.

En el caso de la variable sobrevivencia se aplicó la prueba de Brand Snedecor⁹².

5.10.1 Unidad experimental. Es la unidad experimental correspondiente a cada acuario de 45 L de capacidad, con 20 animales de sábalo amazónico (*B. melanopterus*) y que se les inyectó CO₂ según el tratamiento correspondiente.

⁹² REYES, Pedro. Bioestadística aplicada. México: Publímex, 1985. p. 86.

5.11 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Se plantearon las siguientes hipótesis para esta investigación:

Ho: $\mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$: Ninguno de los tratamientos presentó diferencias significativas con respecto a la media.

H1: $\mu_0 \neq \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$: Al menos uno de los tratamientos presentó diferencias significativas con respecto a la media.

5.12 VARIABLES A EVALUAR

En esta investigación se evaluaron las siguientes variables:

5.12.1 Supervivencia. Según Enríquez y Ordoñez⁹³ es el porcentaje de animales que sobreviven al periodo experimental.

$$S = \left(1 - \left(\frac{(N^{\circ} \text{ TAM})}{(N \text{ TAI})} \right) \right) \times 100$$

Dónde:

S: supervivencia de los alevinos

N° TAM: número total de animales muertos

N° TAI: número total de animales iniciales.

Para determinar las diferencias estadísticas significativas con relación a esta variable se utilizó la prueba de Brand Snedecor, descrita por Snedecor y Cochran⁹⁴. Esta variable binominal discreta, se calculó con la siguiente fórmula:

$$X^2_c = \frac{[\sum ai \cdot pi] - [p \cdot \sum ai]}{pq}$$

$X^2_c \geq X^2(1 - \alpha)$ Existen diferencias estadísticas significativas.

⁹³ ENRÍQUEZ, Julio y ORDOÑEZ, Gabriela. Evaluación del efecto de la hormona 17 alfa- metiltestosterona, en la inducción al sexo de embriones de Tilapia Roja (*Oreochromis sp*). Pasto, 2010, p. 60. Trabajo de grado (Ingeniero en Producción Acuícola). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de Ingeniería en Producción Acuícola.

⁹⁴ SNEDECOR, George W y COCHRAN, William G. Statistical Methods: lawa, State University Press, 8ª edición. 1989., p.203-204.

Dónde:

x^2c : Chi cuadrado
ai: Número de éxitos
p: Número de probabilidad de éxitos en una sola prueba
pi: probabilidad asociado al i-ésimo elemento
q: $1 - p$

5.12.2 Incremento de Peso. Según Palacios⁹⁵ se define como la ganancia de peso que logran cada uno de los individuos o la población total evaluada. Se calcula al final del periodo de experimentación mediante las diferencias de pesos final e inicial.

$$IP = Wf - Wi.$$

Dónde:

IP: incremento de peso.
Wf: peso final.
Wi: peso inicial.

5.12.3 Incremento de Talla. Según Enríquez y Ordoñez⁹⁶ hace referencia al incremento de longitud que alcanzan los animales durante el periodo de estudio y se calcula mediante las diferencias de longitud:

$$IT = Tf - Ti.$$

Dónde:

IT: incremento de talla.
Tf: talla final.
Ti: talla inicial.

5.12.4 Conversión alimenticia aparente (CAA). Según Palacios⁹⁷ es la relación entre la cantidad de alimento consumido y el incremento de peso.

$$CAA = \frac{As}{IP}$$

⁹⁵ PALACIOS, Op. cit., p. 83.

⁹⁶ ENRÍQUEZ, Julio y ORDOÑEZ, Gabriela, Op. cit., p. 59.

⁹⁷ PALACIOS, Op. cit., p. 84.

Dónde:

CAA: conversión alimenticia aparente

As: total de Alimento suministrado (g)

IP: incremento de peso (g)

5.12.5 Tasa de crecimiento simple. Según Palacios⁹⁸ es el incremento de peso ganado por un individuo durante un periodo determinado, expresado en porcentaje.

$$TCS (\%) = \left[\frac{Wt - Wi}{Wi} \right] \times 100$$

Dónde:

TCS (%) = Porcentaje de crecimiento mensual

Wt = Peso final

Wi = Peso inicial

5.12.6 Parámetros físico – químicos. Se evaluaron los parámetros físico – químicos para cada tratamiento, tales como: temperatura, oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, amonio y CO₂.

⁹⁸ Ibid., p. 83.

6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

VARIABLES EVALUADAS

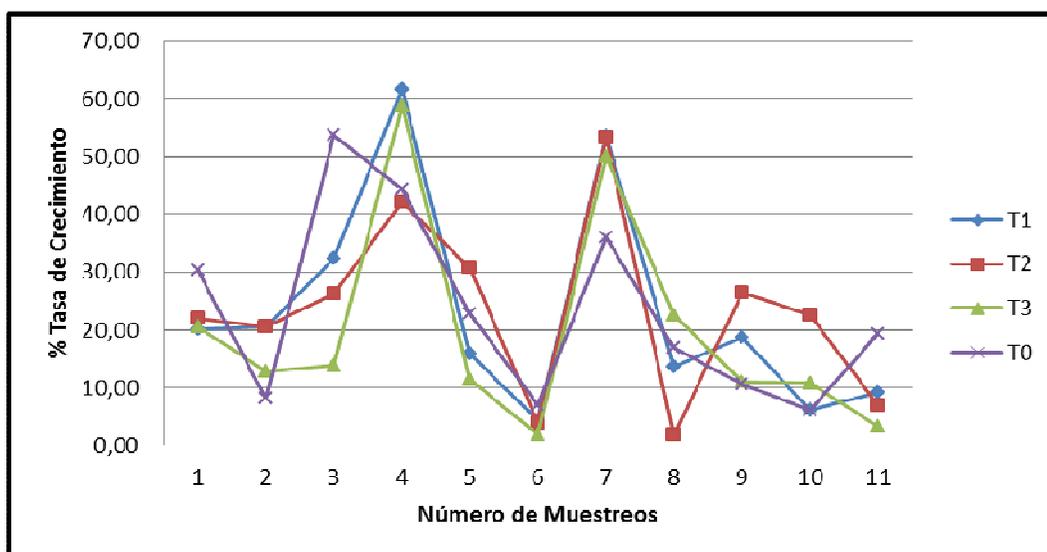
Las variables evaluadas en esta investigación, fueron analizadas estadísticamente con el Software InfoStat versión 2011 y Microsoft Excel 2007. Los resultados del análisis de varianza determinó que por lo menos una de las variables presentó diferencias significativas con un 95% de confianza, esto permite aceptar la hipótesis alternativa, lo cual indica que el factor manipulado CO₂, afectó las variables propuestas en este estudio.

6.1 VARIABLES PRODUCTIVAS

Se realizaron los análisis de las Variables Productivas: incremento de peso, incremento de talla, sobrevivencia, conversión alimenticia aparente y tasa de crecimiento simple. Los resultados obtenidos para cada variable son:

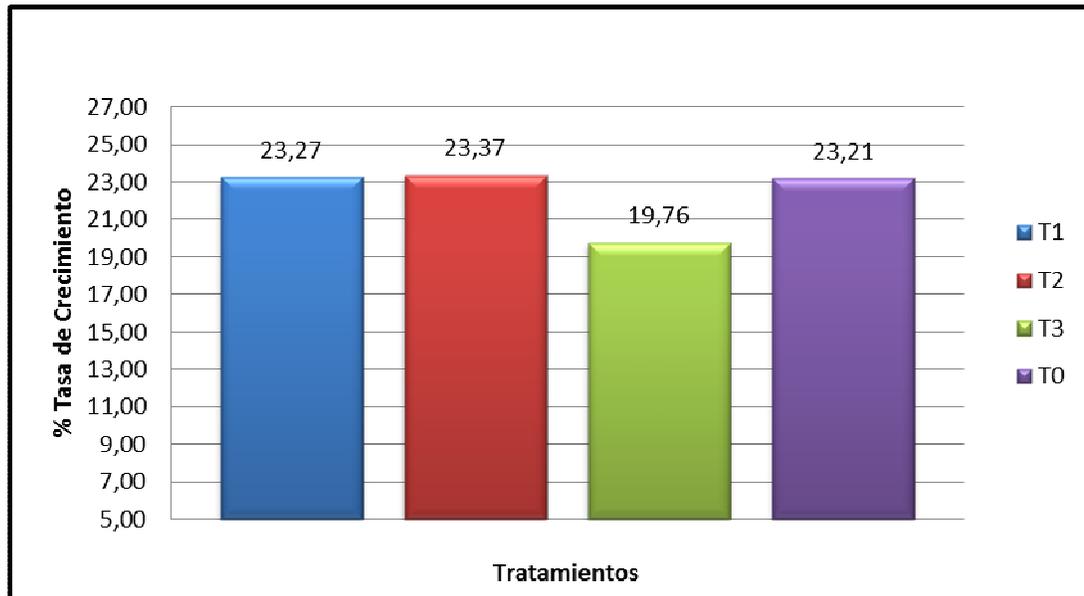
6.1.1 Tasa de Crecimiento Simple. Al inicio de esta investigación, la tasa de crecimiento simple para T0 y T3 fue de 20,58%; T1 fue de 30,38%; T2 fue de 22,11%; a medida que el proyecto avanzó, la tasa de crecimiento cambió por lo tanto reportó valores como T0: 53,63%; T1: 61,51%; T2: 53,18% y T3: 58,74%. Al final del estudio esta variable registró para T0: 19,29%; T1: 9,18%; T2: 6,92% y T3: 3,34%. Lo anterior como se indica en la Figura 10.

Figura 10. Curva de Tasa de Crecimiento Simple



Por otra parte se tiene que los promedios para cada tratamiento son: T0: 23,21%; T1: 23,27%; T2: 23,37%; y T3: 19,76%, esto como se indica en la Figura 11.

Figura 11. Tasa de Crecimiento Simple del Sábalo Amazónico (*B. melanopterus*)



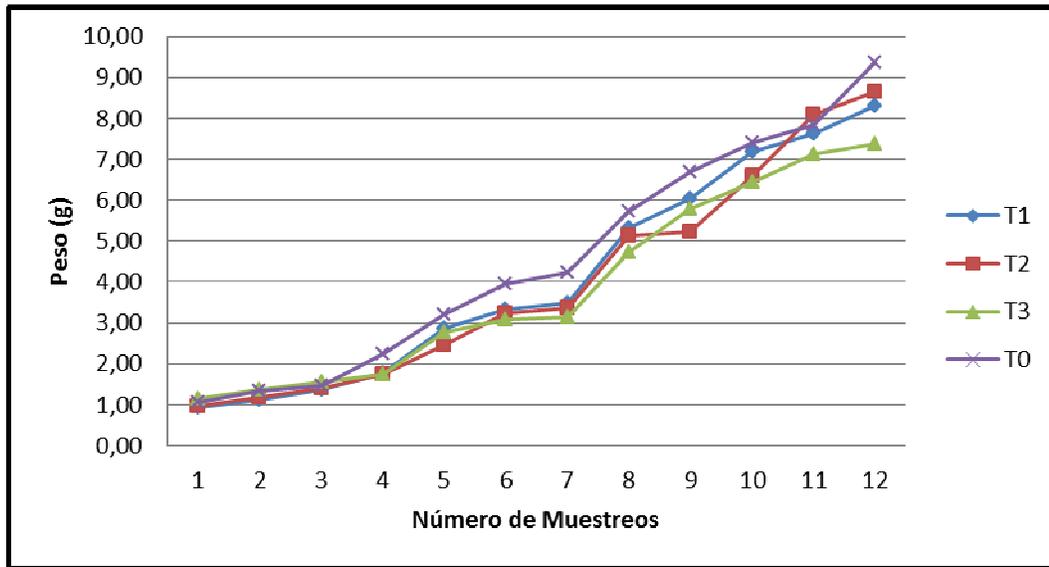
Fivelstad *et al*⁹⁹ en su investigación indica que la tasa de crecimiento del grupo medio fue ligeramente positiva con respecto al grupo control, a diferencia del grupo de alta exposición de CO₂ el cual fue negativo.

Teniendo en cuenta el Análisis de Varianza (Anexo C) se determinó que no hubo diferencias estadísticas significativas, por lo tanto los tratamientos se comportaron de la misma manera.

6.1.2 Incremento de Peso. El peso promedio al inicio de esta investigación (Anexo D) fue para T0: 1,06 g; T1: 0,95 g; T2: 0,96 g y T3: 1,15 g, los cuales no presentaron diferencias estadísticas significativas (Anexo E); en la etapa final alcanzaron un peso para cada tratamiento de T0: 9,36 g; T1: 8,31 g; T2: 8,66 g y T3: 7,37 g, como se indica en Figura 12; estos valores presentaron diferencias estadísticas significativas (Anexo F).

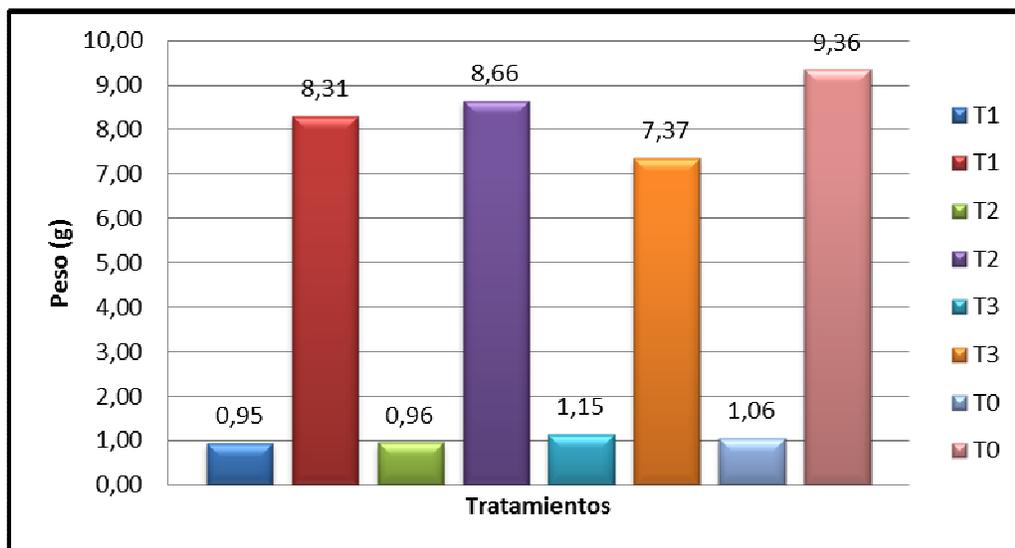
⁹⁹ FIVELSTAD, S. *et al.* Impacts of elevated water carbon dioxide partial pressure at two temperatures on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr growth and haematology, Op. cit., p. Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848607004735>

Figura 12. Curva de Crecimiento Promedio Peso



El comportamiento del incremento de peso durante todo el período de estudio reportaron valores entre 7,37 g hasta 9,36 g (Figura 13). Estos incrementos dan como resultados al final del estudio tratamientos con mayor y menor peso, alcanzando mejores valores el Tratamiento control T0 seguido de T2 y T1.

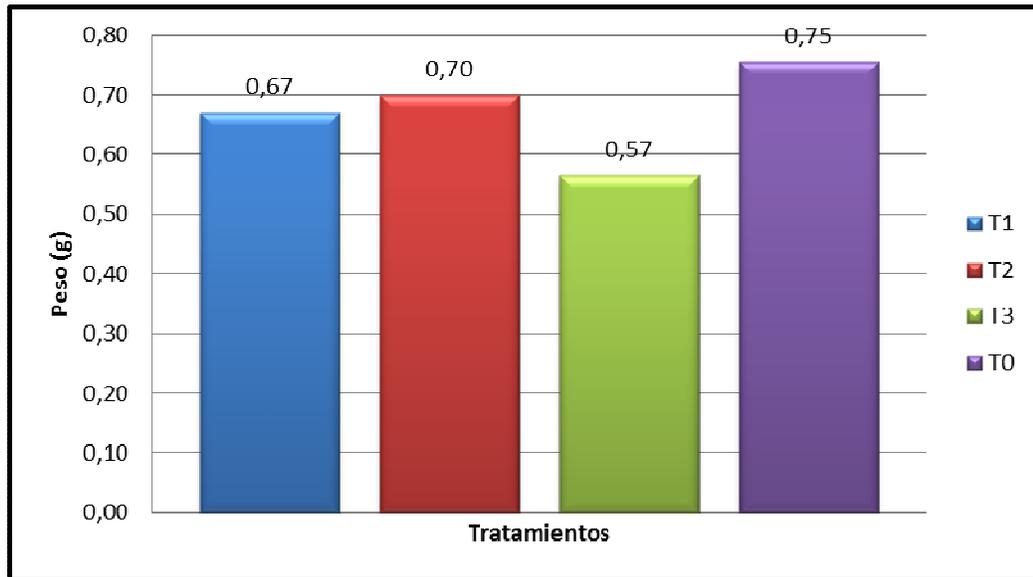
Figura 13. Peso Promedio Inicial y Final



El Análisis de Varianza (Anexo G), determinó que hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, por lo tanto los niveles de CO₂ afectaron la

variable incremento de peso período. La Prueba de Tukey indicó que el mejor tratamiento fue el T0, obteniendo como resultado un incremento de 0,75 g durante el estudio (Figura 14).

Figura 14. Incremento de Peso Promedio por Periodo (5 días)



Fivelstad *et al.*¹⁰⁰ indica al final de su estudio, que el peso medio de los tratamientos expuestos a altas cantidades de CO₂ se redujo en comparación con los grupos control. El mismo autor en una investigación anterior¹⁰¹ indica que el aumento de concentraciones de CO₂ reducen significativamente el peso de los animales y entre más pequeño sea el animal menos será su tolerancia a los niveles de este parámetro. Lo anterior confirma los datos obtenidos por este estudio, lo cual demuestra que a altos niveles de CO₂ el peso disminuye.

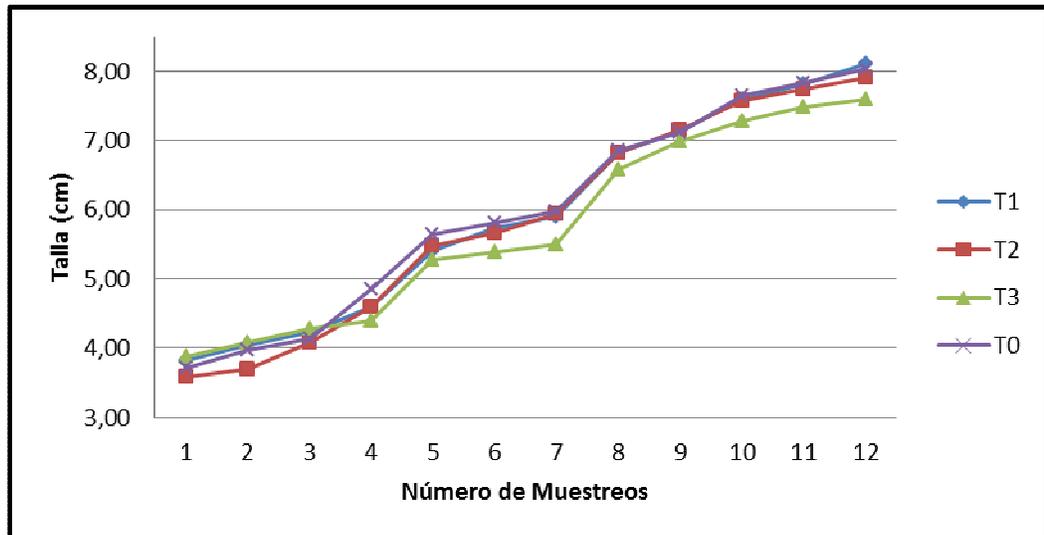
6.1.3 Incremento de Talla. La talla promedio al inicio de esta investigación (Anexo H) fue para T0: 3,72 cm; T1: 3,82 cm; T2: 3,59 cm y T3: 3,89 cm, los cuales no presentaron diferencias estadísticas significativas (Anexo I); para su etapa final alcanzó una talla para cada tratamiento de T0: 8.03 cm; T1: 8.11 cm;

¹⁰⁰ FIVELSTAD, S. *et al.* A major water quality problem in smolt farms: combined effects of carbon dioxide, reduced pH and aluminium on Atlantic salmon. Revista de Acuicultura El Sevier, Ámsterdam. Holanda Septentrional: Aquaculture (2003). Vol. 215. p. 358. (Citado 26 de Mayo de 2011). Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848602001977>

¹⁰¹ FIVELSTAD, S. *et al.* Effects of carbon dioxide on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at constant pH in bicarbonate rich freshwater, Op. cit., p. Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848699001258>

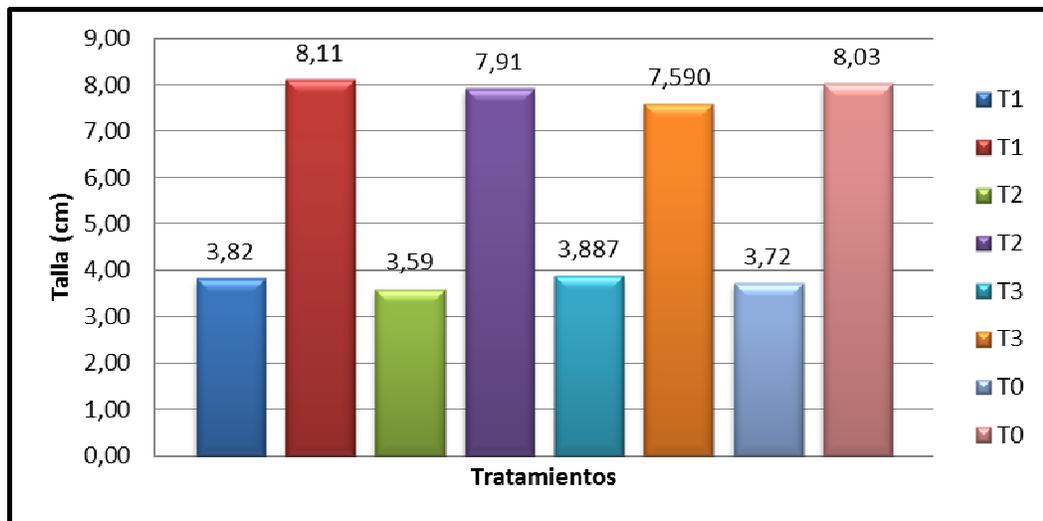
T2: 7,91 cm y T3: 7,59 cm, como se indica en la Figura 15, estos valores presentaron diferencias estadísticas significativas (Anexo J)

Figura 15. Curva de Crecimiento Promedio Talla



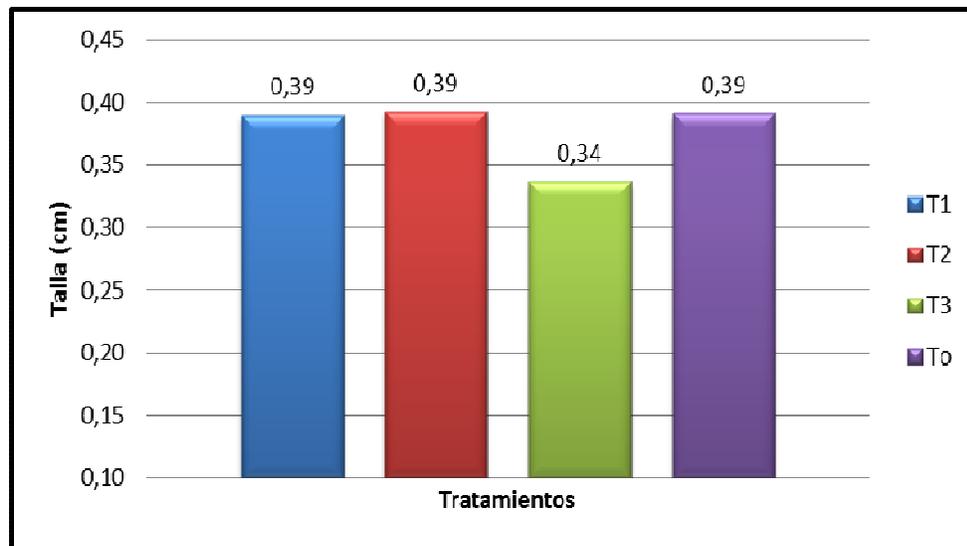
Durante el período de estudio, el comportamiento del incremento de talla alcanzó valores entre 7,59 hasta 8,11 cm como se observa en la Figura 16. Los datos en esta sección corresponden a la talla desde el inicio hasta el final del proyecto en cada tratamiento, donde el tratamiento T1 es el que mayor talla alcanzó junto a T0.

Figura 16. Talla Promedio Inicial y Final



Teniendo en cuenta el Análisis de Varianza (Anexo K), se determinó que hubo diferencias estadísticas significativas por lo tanto los niveles de CO₂ afectaron la variable incremento de talla período. La Prueba de Tukey indicó que los tratamientos T0, T1 y T2 se comportaron de la misma manera y que el tratamiento T3, el cual manejó el mayor nivel de CO₂ obtuvo el menor crecimiento como se observa en la siguiente Figura 17.

Figura 17. Incremento de Talla Promedio Periodo (5 días)

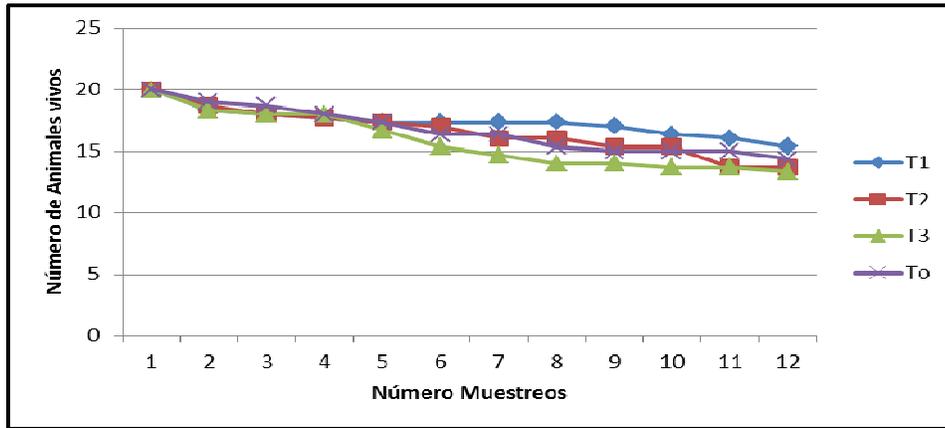


Fivelstad *et al.*¹⁰² concluye al finalizar su investigación que los grupos expuestos a altos niveles de CO₂ redujeron su longitud significativamente en comparación con el grupo control.

6.1.4 Sobrevivencia. Los diferentes tratamientos reportaron una sobrevivencia promedio de 71%, así mismo el número de animales muertos se fueron dando de manera paulatina como se observa en la Figura 18.

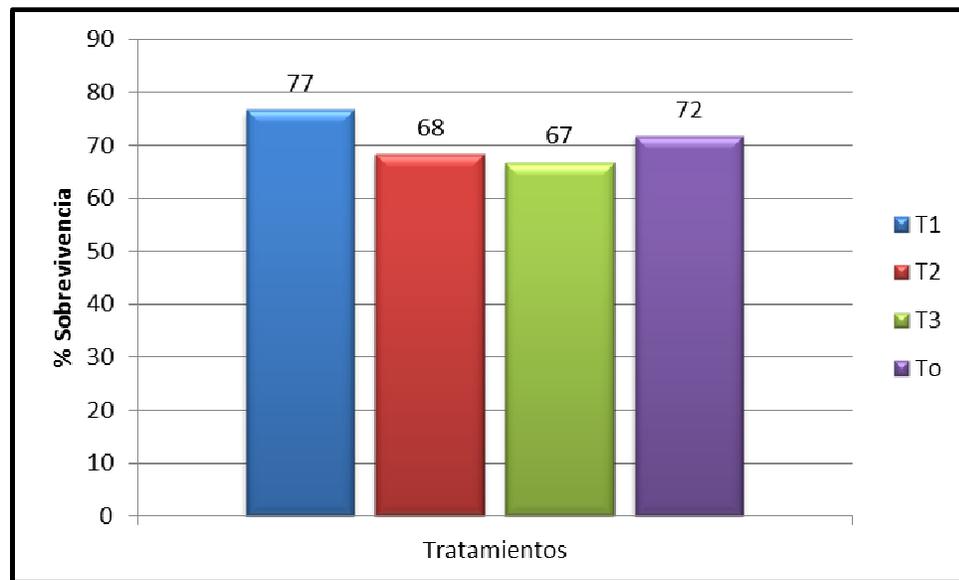
¹⁰² FIVELSTAD, S. *et al.* Effects of carbon dioxide on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at constant pH in bicarbonate rich freshwater, *Op. cit.*, p. 175. Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848699001258>

Figura 18. Curva de Supervivencia



La prueba estadística de Brand y Snedecor¹⁰³ (Anexo L) estableció que no hubo diferencias significativas, de tal manera que todos los tratamiento se comportaron de igual manera, obteniendo los siguientes resultados T0: 72%; T1: 77%; T2: 68% y T3 67% (Figura 19).

Figura 19. Porcentaje de Supervivencia



El Análisis de Varianza (Anexo M) no encontró diferencias estadísticas significativas; por lo tanto el CO₂ no afectó esta variable.

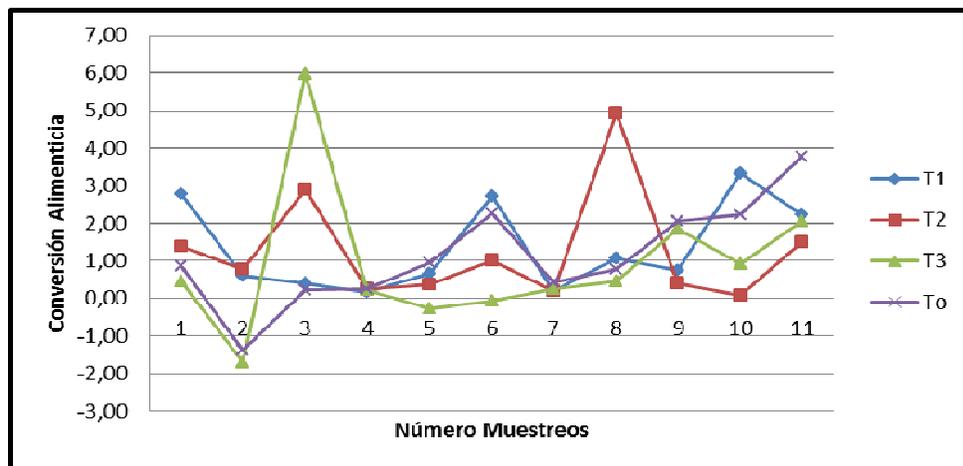
¹⁰³ SNEDECOR, George W y COCHRAN, William G, Op. cit., p.203-204.

Fivelstad *et al.*¹⁰⁴ en su estudio indica que hay un aumento de la mortalidad en los grupos de media y alta exposición de CO₂ en comparación con el grupo control.

Para este estudio, la mortalidad presentada no se debe a la inyección de CO₂ esto se puede explicar debido al control que se mantuvo de otros parámetros como el O₂, pH y el amonio, sin embargo si estos parámetros no hubieran sido controlados en todos los tratamientos, la toxicidad del dióxido de carbono incidiría en esta variables, como lo afirman los anteriores autores.

6.1.5 Conversión Alimenticia Aparente. La conversión alimenticia aparente al iniciar el estudio indicó que T0 tiene un valor de 0,88; T1: 2,78; T2: 1,39 y T3: 0,45. Durante el estudio los valores máximos de conversión alimenticia que se alcanzó fueron T0: 3,77; T1: 3,34; T2: 4,92 y T3: 5,96. Al finalizar el estudio los tratamientos obtuvieron los siguientes resultados de conversión alimenticia acumulada para T0: 3,77; T1: 2,24; T2: 1,51 y T3: 2,05. Lo anterior se puede observar en la Figura 20.

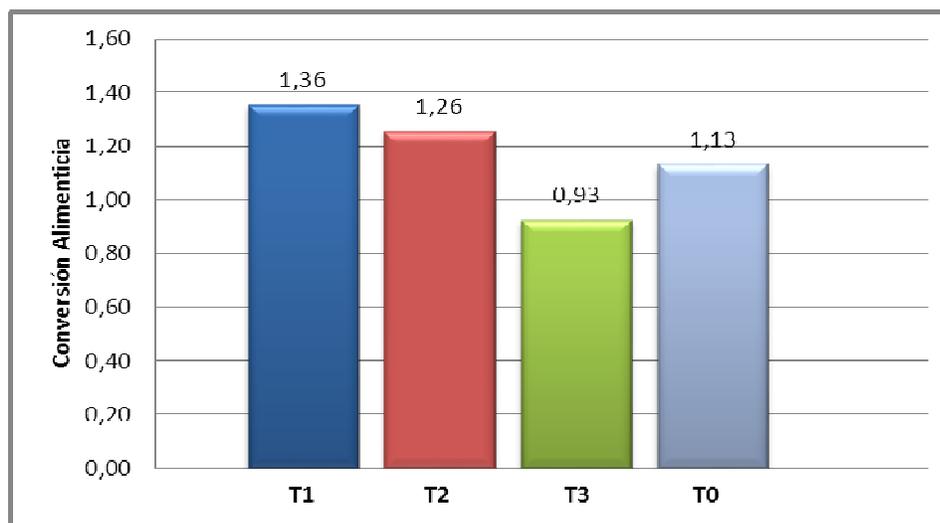
Figura 20. Curva de Conversión Alimenticia por Periodo



Los resultados del Análisis de Varianza (Anexo N) determinaron que no se encontraron diferencias estadísticas significativas lo que indica que los niveles de CO₂ no afectaron la conversión alimenticia de los animales, por lo tanto el promedio para T0 fue de 1,13; T1:1,36; T2:1,26 y T3:0,93 como se observa en la Figura 21.

¹⁰⁴ FIVELSTAD, S. *et al.* Effects of carbon dioxide on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at constant pH in bicarbonate rich freshwater, *Op. cit.*, p. 172. Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848699001258>

Figura 21. Conversión Alimenticia Promedio por Tratamiento



Los peces expuestos a un alto nivel de CO₂ indican una reducción en el crecimiento debido a que hay una menor ingesta de alimento y un mayor uso de la energía en condiciones de estrés, esto según el autor Gil Martens¹⁰⁵.

Boyd y Tucker¹⁰⁶ indican que el crecimiento y la conversión alimenticia de las truchas criadas entre 12 y 24 mg/L de dióxido de carbono disuelto fueron similares durante el período de exposición de 275 días, pero el crecimiento y la conversión alimenticia fueron menores para los peces criados en 55 mg/L, aunque se observaron los efectos después de 330 días de exposición. El crecimiento de juveniles de esturión blanco (*Acipenser transmontanus*) se redujo en un 38% cuando se expusieron entre 45 - 75 mg/L de dióxido de carbono disuelto durante 28 días; estos esturiones nadaban de forma errática y su alimentación era menor comparada con los peces de los acuarios control.

6.2 PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS

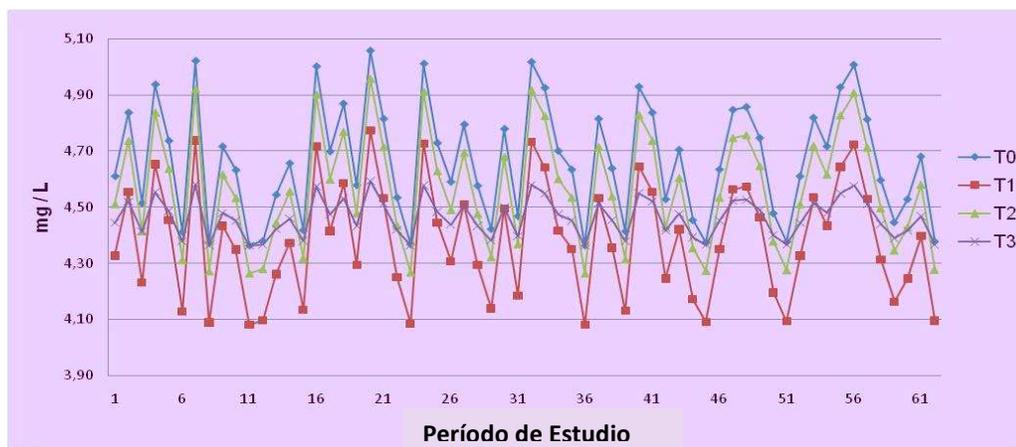
Se realizó el análisis de los parámetros físico-químicos: oxígeno, temperatura, pH, dióxido de carbono, alcalinidad y amonio. Según los resultados arrojados por el análisis de varianza se encontró que ninguno de los parámetros anteriormente nombrados presentó diferencias estadísticas significativas a excepción del dióxido de carbono, el cual fue ajustado por el sistema de inyección de CO₂. Los resultados obtenidos para cada parámetro son:

¹⁰⁵ GIL MARTENS, L *et al.* Impact of high water carbon dioxide levels on Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.): Effects on fish performance, vertebrae composition and structure. Revista de Acuicultura El Sevier, Ámsterdam. Holanda Septentrional: Aquaculture (2006). Vol. 261. p. 88

¹⁰⁶ BOYD, Claude y TUCKER, Craig, Op. cit., p. 124.

6.2.1 Oxígeno. El comportamiento del oxígeno disuelto durante el período de estudio (Anexo Ñ), osciló entre 4,08 y 5,06 mg/L como se observa en la Figura 22.

Figura 22. Comportamiento del Oxígeno Disuelto



El promedio del oxígeno disuelto en esta investigación fue para T0: $4,67 \pm 0,21$ mg/L; T1: $4,38 \pm 0,21$ mg/L; T2: $4,57 \pm 0,21$ mg/L; T3: $4,46 \pm 0,07$ mg/L. Los anteriores valores fueron los adecuados para la especie, esto según Arias¹⁰⁷ quien reporta que el valor óptimo para esta especie es mayor a 3 mg/L.

El Análisis de Varianza (Anexo O) determinó que no hubo diferencias estadísticas significativas, por lo tanto los diferentes niveles de CO₂ aplicados a cada tratamiento no afectaron este parámetro; estos valores son inferiores en comparación al oxígeno presente en la investigación realizada por Fivelstad¹⁰⁸, quien reportó un valor de 9 mg/L el cual indica que concentraciones de oxígeno inferiores es probable que el dióxido de carbono sea más tóxico.

6.2.2 Temperatura. En promedio la temperatura en esta investigación fue para T0: $27,1 \pm 0,3$ °C; T1: $26,2 \pm 0,2$ °C; T2: $26,0 \pm 0,1$ °C ; T3: $26,5 \pm 0,3$ °C. Los anteriores valores fueron los adecuados para la especie, según Arias¹⁰⁹ quien reporta que el valor óptimo para esta especie se encuentra entre 25°C y 30°C.

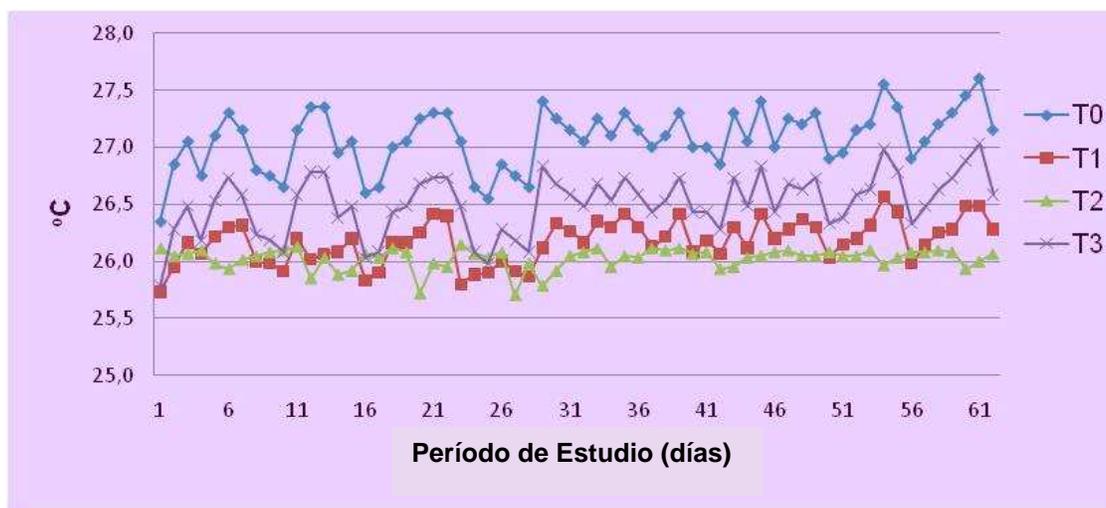
El comportamiento de la temperatura durante el período de estudio (Anexo P) osciló entre 25,7°C y 27,6°C como se observa en la Figura 23.

¹⁰⁷ ARIAS, José, Op. cit., p. 28.

¹⁰⁸ FIVELSTAD, S. *et al.* Long-term sublethal effects of carbon dioxide on Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.): ion regulation, haematology, element composition, nephrocalcinosis and growth parameters. Revista de Acuicultura El Sevier, Ámsterdam. Holanda Septentrional: Aquaculture (2003). Vol. 215. p. 319. (Citado 11 Julio de 2011). Disponible en Internet: URL: http://203.250.122.194/blood/b_chem/b_chem_017.pdf

¹⁰⁹ ARIAS, José, Op. cit., p. 33.

Figura 23. Comportamiento de la Temperatura



El Análisis de Varianza (Anexo Q) determinó que no hubo diferencias estadísticas significativas, por lo tanto los diferentes niveles de CO₂ aplicados a cada tratamiento no afectaron a esta variable.

Hargreaves y Brunson¹¹⁰ indican que en aguas de temperaturas altas tiende a aumentar el metabolismo de los organismos del estanque, las tasas de respiración y la descomposición de desechos generados por las grandes cantidades de materia orgánica, los cuales requieren grandes cantidades de oxígeno disuelto y a su vez estos producen grandes cantidades de dióxido de carbono.

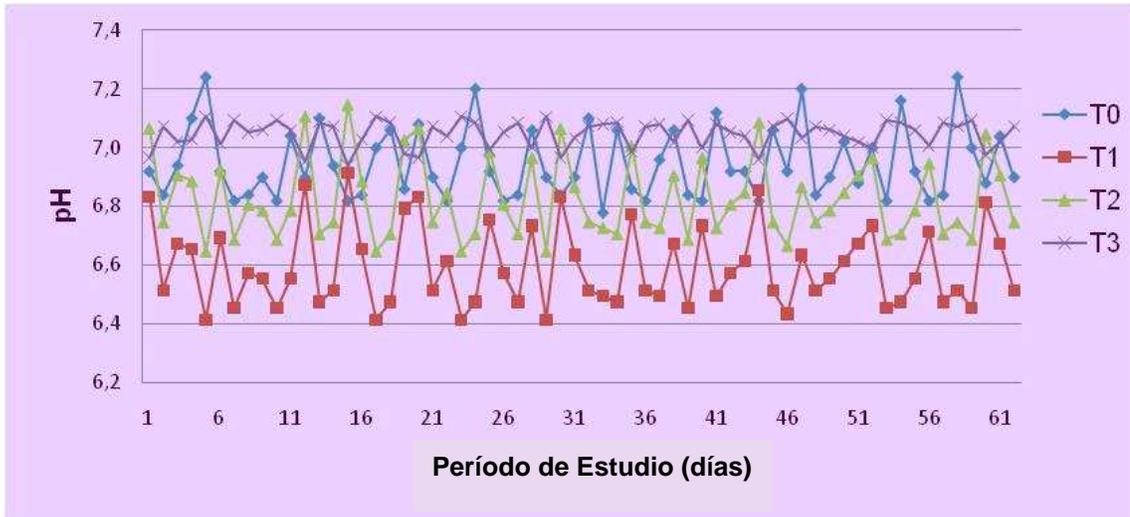
Palacios¹¹¹ reporta una temperatura promedio de 25,45°C; en consecuencia los valores obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de la temperatura óptima para el manejo de esta especie íctica.

6.2.3 Potencial de Hidrogeniones – pH. El comportamiento del pH durante el período de estudio (Anexo R) osciló entre 6,4 y 7,2 como se observa en la Figura 24; esto debido a la capacidad buffer que le otorgaron los medios soporte que forman parte del sistema de filtración de la estación piscícola a saber: material triturado de agregado de la zona.

¹¹⁰ HARGREAVES, John y BRUNSON, Martin. Carbon Dioxide in fish ponds. Mississippi, United State: State University, Southern Regional Aquaculture Center (1996) Publicación. 468. p. 6

¹¹¹ PALACIOS, Pedro José, Op. cit., p. 111.

Figura 24. Comportamiento del pH



El promedio de pH en esta investigación fue para T0: $6,9 \pm 0,12$; T1: $6,6 \pm 0,14$; T2: $6,8 \pm 0,14$; T3: $7,0 \pm 0,05$. Los anteriores valores fueron los adecuados para la especie. Arias¹¹² reporta que el valor óptimo para esta especie se encuentra entre 6 y 8.

Según Lawson¹¹³, el pH óptimo para un sistema acuícola, está definido como el pH del agua cuando este está en equilibrio con el CO₂ atmosférico.

El Análisis de Varianza (Anexo S) determinó que no hubo diferencias estadísticas significativas, por lo tanto los diferentes niveles de CO₂ aplicados a cada tratamiento no afectaron al pH.

Los efectos combinados entre el aumento de los niveles de dióxido de carbono y la baja de pH en larvas de salmón del Atlántico han sido estudiados por Fivelstad *et al*¹¹⁴ el cual encontró que es más grave que lo que indican las diferentes investigaciones. En este estudio los niveles de pH permanecieron estables, en consecuencia el ambiente mantuvo un equilibrio.

¹¹² ARIAS, José, Op. cit., p. 36.

¹¹³ LAWSON, Thomas. Fundamentals of Aquacultural Engineers. Estado Unidos: Chapman & Hall. 1995. p. 26.

¹¹⁴ FIVELSTAD, S. *et al*. A major water quality problem in smolt farms: combined effects of carbon dioxide, reduced pH and aluminium on Atlantic salmon, Op. cit., p. 357. Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848602001977>

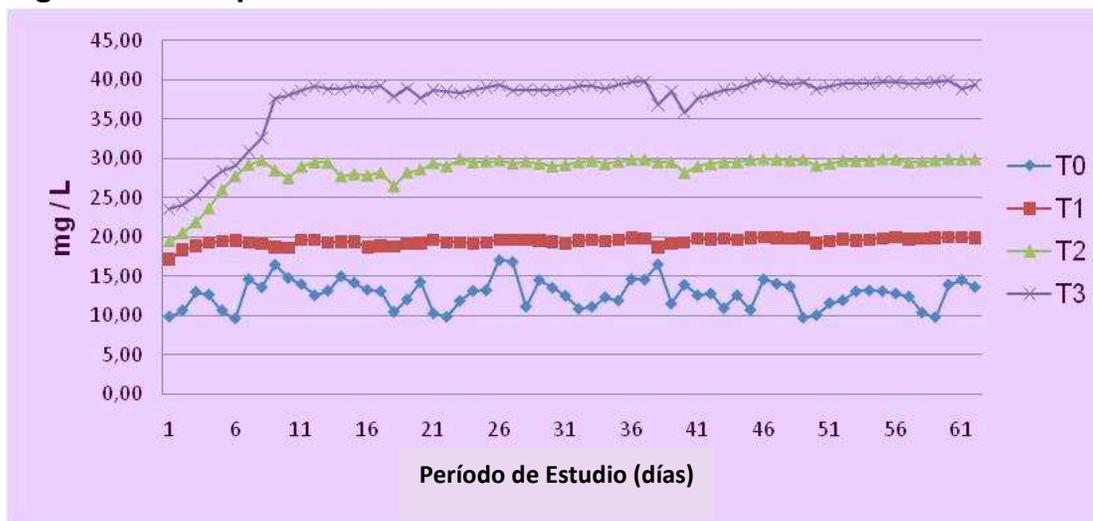
Hargreaves y Brunson¹¹⁵ indican que el pH de la mayoría de los estanques en el amanecer es por lo general entre 7,5 – 8 lo que indica que los valores en esta investigación fueron los adecuados para el manejo de la especie íctica.

Boyd y Tucker¹¹⁶ informan que los estudios realizados muestran que los efectos de la hipercapnia en el crecimiento estaban directamente relacionados a un aumento de las concentraciones de dióxido de carbono disuelto y no se asocian con el pH ambiental menor que normalmente acompaña a la mayor concentración de dióxido de carbono disuelto. El dióxido de carbono en el agua actúa como un ácido. El pH del agua es una función de la concentración de dióxido de carbono disuelto y la capacidad amortiguadora del agua. La intensa producción de dióxido de carbono producto de la respiración de los animales puede causar que el pH caiga a niveles de estrés.

6.2.4 Dióxido de Carbono. El comportamiento del dióxido de carbono durante el período de estudio (Anexo T) osciló entre 9,61 y 40,11 como se observa en la Figura 25.

El promedio del dióxido de carbono en esta investigación fue para T0: 12,77 ±1,86 mg/L; T1: 19,43 ± 0,48 mg/L; T2: 28,69 ± 2,15 mg/L; T3: 37,45 ± 4,04 mg/L. Los anteriores valores fueron ajustados según lo establecido en cada tratamiento, para medir el efecto que esto implica en la producción de alevinos de *B. melanopterus*. Arias¹¹⁷, recomienda para el cultivo de especies de la familia bryconidae concentraciones inferiores a 20 mg/L.

Figura 25. Comportamiento del Dióxido de Carbono



¹¹⁵ HARGREAVES, John y BRUNSON, Martin, Op. cit., p. 7.

¹¹⁶ BOYD, Claude y TUCKER, Craig, Op. cit., p. 124.

¹¹⁷ ARIAS, José, Op. cit., p. 30.

Los resultados del Análisis de Varianza (Anexo U), determinaron que hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, ya que este fue el parámetro manipulado en este estudio.

Según Hargreaves y Brunson¹¹⁸, las principales fuentes de dióxido de carbono en los estanques se derivan de la respiración de los peces, las plantas microscópicas, los animales que componen el estanque y la descomposición de la materia orgánica por lo que los productores deben estar atentos no sólo en el mantenimiento adecuado de oxígeno, sino que también estar muy atentos en las concentraciones de dióxido de carbono.

El problema con la toxicidad del dióxido de carbono puede estar relacionado con la fluctuación diaria de oxígeno disuelto y las concentraciones de CO₂. Las concentraciones de dióxido de carbono son más altas cuando se disuelve en menor concentración el oxígeno. Por lo tanto, al amanecer es un momento crítico para evaluar la calidad del agua del estanque.

Lawson¹¹⁹ explica que el Bagre de canal tiene relativamente un bajo efecto Bohr-Root en comparación con la mayoría de las especies y puede sobrevivir en aguas con una concentración de CO₂ de hasta 50 mg/L, siempre que haya suficiente oxígeno. Muchas especies pueden sobrevivir a corto plazo a la exposición de concentraciones ligeramente superiores, pero una concentración de CO₂ de 10 a 15 mg/L se recomienda como máximo para los peces. Los efectos tóxicos del CO₂ para la trucha son alrededor de 9 - 10 mg/L.

Por otra parte, Boyd y Tucker¹²⁰ indican que las altas concentraciones de dióxido de carbono disuelto (más de 60, 80 mg/L) tienen un efecto narcótico en los animales acuáticos y concentraciones aún más altas puede causar la muerte.

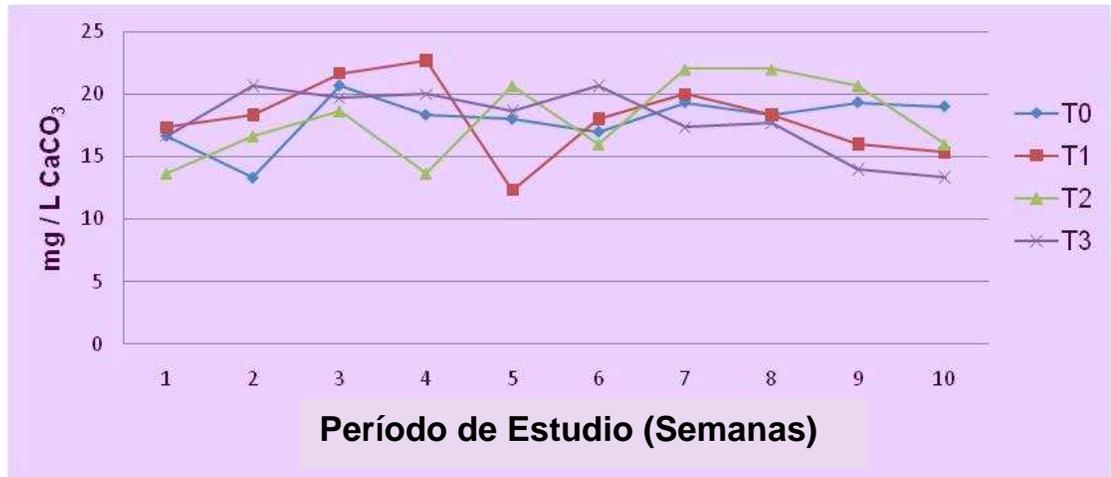
6.2.5 Alcalinidad. El comportamiento de la alcalinidad durante el período de estudio (Anexo V) osciló entre 12 y 23 como se observa en la Figura 26.

¹¹⁸ HARGREAVES, John y BRUNSON, Martin, Op. cit., p. 6.

¹¹⁹ LAWSON, Thomas, Op. cit., p. 27.

¹²⁰ BOYD, Claude y TUCKER, Craig, Op. cit., p. 123.

Figura 26. Comportamiento de la Alcalinidad



El promedio de la alcalinidad en esta investigación fue para T0: $18 \pm 2,01$ mg/L CaCO₃; T1: $18 \pm 3,04$ mg/L CaCO₃; T2: $18 \pm 3,23$ mg/L CaCO₃; T3: $18 \pm 2,61$ mg/L CaCO₃. Arias¹²¹ reporta que el valor óptimo para esta especie es de 17,1; Palacios¹²² informa en su investigación valores entre 18,30 – 20,60 mg/L para alcalinidad, por lo tanto los valores en esta investigación están dentro del rango adecuado para la especie.

El Análisis de Varianza (Anexo W) determinó que no se encontraron diferencias estadísticas significativas, por lo tanto los diferentes niveles de CO₂ no afectaron la alcalinidad.

El dióxido de carbono presente en los estanques con baja alcalinidad (20 a 50 mg/L de CaCO₃) puede causar una caída en el pH y por esta razón llevar hasta los límites inferiores el crecimiento y la producción óptima de los peces, como lo afirman Hargreaves y Brunson¹²³ en su estudio.

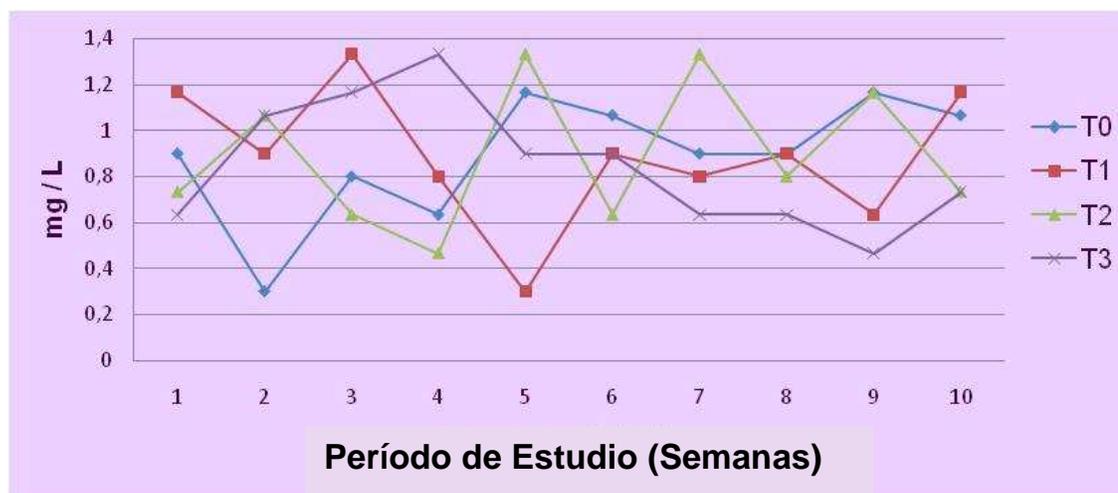
6.2.6 Amonio. El comportamiento del amonio disuelto durante el período de estudio (Anexo X) osciló entre 0,3 y 1,3 como se observa en la Figura 27.

¹²¹ ARIAS, José, Op. cit., p. 35.

¹²² PALACIOS, Op. cit., p. 111.

¹²³ HARGREAVES, John y BRUNSON, Martin, Op. cit., p. 7.

Figura 27. Comportamiento del Amonio



Arias¹²⁴ establece que para el cultivo de especies de género brycon, el amonio debe estar en un valor de 0 mg/L. Arredondo y Ponce¹²⁵ indica que los valores de amonio para la mayoría de especies puede ser tóxica en periodos cortos de 6 a 2 mg/L; sin embargo esta toxicidad depende de los niveles de oxígeno. Mientras que para Timmons *et al*¹²⁶ el valor del amonio para especies de aguas cálidas debe ser menor a 3 mg/L. Para Baldisserotto y Gomes¹²⁷, en tanques de transporte se reportan valores de amonio total entre 5,07 – 5,75 mg/L. En esta investigación, los valores promedio de amonio fueron para T0: $0,89 \pm 0,27$ mg/L; T1: $0,89 \pm 0,29$ mg/L; T2: $0,89 \pm 0,31$ mg/L; T3: $0,85 \pm 0,28$ mg/L, según lo anterior estos valores de amonio son inferiores a los niveles de toxicidad y se encuentran dentro del rango para el cultivo de especies de aguas cálidas.

Los resultados del Análisis de Varianza (Anexo Y) determinaron que no hubo diferencias estadísticas significativas, en consecuencia los diferentes niveles de CO₂ aplicados a cada tratamiento no afectaron el parámetro.

¹²⁴ ARIAS, José, Op. cit., p. 37.

¹²⁵ ARREDONDO, José y PONCE, Jesús, Op. cit., p. 18 - 19.

¹²⁶ TIMMONS, Michael *et al*, Op. cit., p. 96.

¹²⁷ BALDISSEROTTO, Bernardo y GOMES, Levy de Carvalho. Especies nativas para piscicultura no Brasil. Santa María, Brasil: Universidad Federal de Santa María ufsm, 2010. p. 163.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- ❖ Esta investigación acepta la hipótesis alternativa debido a que se encontró diferencias estadísticas significativas en dos variables evaluadas: Incremento de Peso e Incremento de Talla. En consecuencia el CO₂ incidió en los resultados de los tratamientos.
- ❖ Con respecto a la variable tasa de crecimiento simple, el Análisis de Varianza al 95% de confiabilidad, no encontró diferencias estadísticas significativas.
- ❖ El CO₂ afectó de manera notoria sobre todo a los tratamientos T2 (30 mg/L) y T3 (40 mg/L) los cuales reportaron los menores incrementos de peso y talla.
- ❖ La prueba estadística de Brand y Snedecor, para la variable sobrevivencia, estableció que no hubo diferencias significativas, de tal manera que todos los tratamientos se comportaron de la misma manera.
- ❖ La conversión alimenticia en este estudio, no reportó diferencias significativas y estuvo dentro de un rango normal para la especie.
- ❖ En esta investigación el comportamiento de los Parámetros Físico – Químicos (oxígeno, temperatura, pH, alcalinidad, amonio), se encontraron en un rango adecuado para el cultivo del sábalo amazónico (*Brycon melanopterus*) a excepción del dióxido de carbono el cual fue manipulado por motivo de este estudio.

7.2 RECOMENDACIONES

- ♣ Realizar un análisis del plasma sanguíneo para ver el efecto del CO₂ en este.
- ♣ Evaluar la Dosis Letal para que permita conocer el efecto causado en el sábalo amazónico (*Brycon melanopterus*) en un rango menor de tiempo y en condiciones más extremas.
- ♣ Identificar los lípidos y medir el cortisol del plasma y las catecolaminas para determinar los efectos y el grado de estrés alcanzado por los animales.
- ♣ Medir la hemoglobina de los eritrocitos, debido a que es el principal medio de transporte de oxígeno y en menor grado de dióxido de carbono.

- ♣ Analizar el sistema nervioso, corazón y bazo para obtener más efectos sobre otros órganos de estos animales.
- ♣ Evaluar el efecto del CO₂ en otras fases y con otras especies hidrobiológicas, así mismo ampliar el tiempo de exposición a dicho gas.
- ♣ Realizar un seguimiento a la calidad de agua a sistemas intensivos con especies ícticas, valorando la interacción del CO₂ con los demás parámetros físico-químicos.

8. BIBLIOGRAFÍA

ACUARIOS.ES. Enciclopedia acuarios y peces (online). El acuario plantado IV: El CO2 y el abonado. 14 de Julio 2008 (Citado el 4 Febrero 2010). Actualizado continuamente. Disponible en Internet: URL: http://enciclopedia.acuarios.es/wiki/El_acuario_plantado_IV:_El_CO2_y_el_Abonado

ALICOR S.A. Manual de crianza de Tilapia. Argentina (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en internet: URL: www.fiagro.org.sv/archivos/0/356.doc

APHA, AWWA, WPCF. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. 17. Madrid, España: Diaz de Santos, 1989. p. 2-88.

AQUINO, Guillermo. Manual básico para el cultivo de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Oaxaca, México (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en Internet: URL: <http://acuiculturamundial.blogspot.com/2009/11/manual-basico-para-cultivo-de-trucha.html>

ARGUMEDO, Eric y ROJAS, Hector. Manual de piscicultura con especies nativas. Asociación de acuicultores del Caquetá ACUICA. Bogotá, Colombia: Produmedios, 2000. 151 p.

ARIAS, José. Biología reproductiva del yamú (*Brycon siebenthalae*) en cautiverio. Trabajo de grado (Doctor en ciencias), Santiago de Cali; Universidad del Valle. Facultad de ciencias, 2002. 116 p.

ARREDONDO, José y PONCE, Jesús. Calidad del agua en acuicultura conceptos y aplicaciones. México: A.G.T Editor, 1998. 222 p.

ARROYO, Marco. Inyección de CO2 con cilindro. México: Comunidad Acuariófila Regiomontana, Julio de 2008 (Citado el 4 Febrero 2010). Actualizado mensualmente. Disponible en Internet: URL: http://www.carac.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=54:inyeccion-de-co2-con-cilindro&catid=40:bricolage&Itemid=55

BALDISSEROTTO, Bernardo y GOMES, Levy de Carvalho. Espécies nativas para piscicultura no Brasil. Santa María, Brasil: Universidad Federal de Santa María ufsm, 2010. 606 p.

BERNALES, Jorge. Piscicultura con especies nativas amazónicas. Lima, Perú: Tratado de cooperación amazónica (TCA). 60 p.

BISSON, Linda. The Alcoholic Fermentation. California, United States: University of California, 2001. 119 p. (Citado el 11 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://fbisson.ucdavis.edu/PDF/VEN124%20Section%203.pdf>

BLANCO, Carmen. La Trucha. Cría Industrial. España: Mundi- Prensa, 1994. 503 p.

BOYD, Claude. Water Quality in warmwater fish ponds. Alabama, Estados Unidos: Craftmaster Printers, Inc., 1979. 359 p.

BOYD, Claude y TUCKER, Craig. Pond Aquaculture Water Quality. Estados Unidos: Kluwer Academic Publishers, 1998. 700 p.

CAMBIO CLIMÁTICO. Cumbre de Copenhague, 7 al 18 de Diciembre de 2009 (Citado el 16 Marzo 2011). Disponible en Internet: URL: <http://www.cambio-climatico.com/la-cumbre-de-copenhague-naufraga-en-una-clausura-decepcionante>

CASAS, Harold y MOJICA, Hermes. Larvicultura y alevinaje del yamú (*Brycon siebenthalae*) en estanques abonados y con el uso de un suplemento alimenticio. Estación piscícola La Terraza – INPA – Villavicencio – Meta. 2003

CASTELLÓ, Francisco. Acuicultura Marina. Fundamentos biológicos y tecnología de la producción. Bcelona, España: Publicacions de la Universitat de Barcelona, 1993. 739 p.

CASTRO, Darío. Peces del Río Putumayo. Mocoa, Putumayo, Colombia: Corporación autónoma regional del Putumayo. 1994. 83 p.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ECOSISTEMAS Y CAMBIO GLOBAL. Calentamiento Global y la Industria pesquera líder mundial. Medellín, Colombia: Carbonoybosques.org, 2006 (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en Internet: URL: http://www.carbonoybosques.org/ultimas_noticias/impacto_sobre_la_fauna_marina.html

CHERRY, JM; HONG, EL.; AMUNDSEN, C; BALAKRISHNAN, R; BINKLEY, G; CHAN, ET; CHRISTIE, KR; COSTANZO, MC; DWIGHT, SS; ENGEL, SR; FISK, DG; HIRSCHMAN, JE; HITZ, BC; KARRA, K; KRIEGER, CJ; MIYASATO, SR; NASH, RS; PARK, J; SKRZYPEK, MS; SIMISON, M; WENG, S; WONG, ED. *Saccharomyces* Genoma Database. California, United States: Stanford University

(Citado el 7 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: http://www.yeastgenome.org/community/VL-what_are_yeast.shtml

CO₂ NOW.org. Earth's CO₂ Home Page. California, United States, 2012. (Citado 11 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://co2now.org/>

CRITES, Ron y TCHOBANOGLIOUS, George. Sistema de Manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Bogotá, Colombia: McGraw – Hill, 2000. p. 1082.

CRYOGAS. Gases Medicinales. Dióxido de Carbono. Medellín, Colombia: Grupo INDURA. (Citado 24 Noviembre de 2011). Disponible en Internet: URL: http://www.cryogas.com.co/productos_detalle.asp?idq=3033&a=GASES&ai=3481&b=GASES MEDICINALES&bi=3506&c=

ENCICLOPEDIA DEL ESTUDIANTE. Ecología. Buenos Aires, Argentina: Santillana S.A., 2006. 317 p.

ENRÍQUEZ, Julio y ORDOÑEZ, Gabriela. Evaluación del efecto de la hormona 17 alfa– metiltestosterona, en la inducción al sexo de embriones de Tilapia Roja (*Oreochromis sp*). Pasto, 2010, 96 p. Trabajo de grado (Ingeniero en Producción Acuícola). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de Ingeniería en Producción Acuícola.

EVANS, David y CLAIBORNE, James. The Physiology of Fishes. Florida, United States: Taylor & Francis Group, 2006. 601 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. Carbon Dioxide. United States, 2012. Actualizado continuamente (Citado 10 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://www.epa.gov/climatechange/emissions/co2.html>

FIVELSTAD, S; WAAGBO, Rune; ZEITZ, Solveig; DIESEN, Anne; BERIT, Anne; STEFANSSON, Sigurd. A major water quality problem in smolt farms: combined effects of carbon dioxide, reduced pH and aluminium on Atlantic salmon. Revista de Acuicultura El Sevier, Ámsterdam. Holanda Septentrional: Aquaculture (2003). Vol. 215. p. 357. (Citado 26 de Mayo de 2011). Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848602001977>

FIVELSTAD, S; BERIT, Anne; KLOFTEN, Hilde; SKI, Hanne; STEFANSSON, Sigurd. Effects of carbon dioxide on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at constant pH in bicarbonate rich freshwater. Revista de Acuicultura El Sevier, Ámsterdam. Holanda Septentrional: Aquaculture (1999). Vol. 178. p. 187 (Citado 18 Junio, 2011). Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848699001258>

FIVELSTAD, S; WAAGBO, Rune; STEFANSSON, Sigurd; BERIT, Anne. Impacts of elevated water carbon dioxide partial pressure at two temperatures on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr growth and haematology. *Revista de Acuicultura El Sevier*, Ámsterdam. Holanda Septentrional: *Aquaculture* (2007). Vol. 269. p. 245 (Citado 23 de Junio, 2011). Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848607004735>

FIVELSTAD, S; BERIT, Anne; ASGARD, Torbjorn; BAEVERFJORD, Grete; RASMUSSEN, Tim; VINDHEIM, Tore; STEFANSSON, Sigurd. Long-term sublethal effects of carbon dioxide on Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.): ion regulation, haematology, element composition, nephrocalcinosis and growth parameters. *Revista de Acuicultura El Sevier*, Ámsterdam. Holanda Septentrional: *Aquaculture* (2003). Vol. 215. p. 319. (Citado 11 Julio de 2011). Disponible en Internet: URL: http://203.250.122.194/blood/b_chem/b_chem_017.pdf

GEO Una nueva visión del mundo (online). El CO2 marino deforma los peces. Hamburgo, Alemania: GEO International, 2009 (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en Internet: URL: <http://www.mundo-geo.es/naturaleza/animales/el-co2-marino-deforma-los-peces>

GIL MARTENS, L; WITTEN, Eckhard; FIVELSTAD, Sveinung; HUYSSSEUNE, Ann; SAEVAREID, Bjarte; VIKESA, Vibeke; OBACH, Alex. Impact of high water carbon dioxide levels on Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.): Effects on fish performance, vertebrae composition and structure. *Revista de Acuicultura El Sevier*, Ámsterdam. Holanda Septentrional: *Aquaculture* (2006). Vol. 261. p. 88. (Citado 19 Agosto 2011). Disponible en Internet: URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848606004698>

GONZÁLEZ, Raúl; ROMERO, Oscar; VALDIVIÉ, Manuel. Evaluación de la calidad del agua y su influencia en el cultivo de la Tilapia. La Habana, Cuba (Citado el 10 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://www.vet-uy.com/articulos/piscicultura/050/020/pec020.htm>

GROEL, Néstor. Generación de dióxido de carbono mediante la reacción de un ácido y una base. Argentina: Sociedad Acuariológica del Plata, 2006 (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en Internet: URL: http://www.sadelplata.org/articulos/groel_060907.html

HARGREAVES, John y BRUNSON, Martin. Carbon Dioxide in fish ponds. Mississippi, United State: State University, Southern Regional Aquaculture Center (1996) Publicación. 468. p. 6

HARROULD, Ellycia y SAVITZ, Jacqueline. Acidificación. Como afecta el CO₂ a los océanos. Madrid, España: OCEANA. org., 2009. (Citado 10 Febrero 2012) Disponible en Internet: URL: www.ulp.edu.ar/ulp/VerLecturaMA.asp?LecturaMAID=108

HOOD, María; POERTNER, Hans; FABRY, Victoria; GATTUSO, Jean; REIBESSELL, Ulf. Ocean Acidification. (Citado 11 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://www.ocean-acidification.net/FAQeco.html>

KITA, Jun y OHSUMI, Takashi. Biological impact assessment of direct CO₂ injection into the ocean. Kyoto, Japón: Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE) (Citado 9 Febrero 2012) Disponible en Internet: URL: <http://www.gulfcouncil.org/beta/gmfmcweb/Aquaculture/biol.%20impact%20of%20CO2.pdf>

LABORATORIOS BRAND. Cámaras de recuento. Alemania: Brand GMBH (Citado 24 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://www.brand.de/es/productos/laboratorio-clinico/camaras-de-recuento/>

LAGLER, Karl, BARDACH; MILLER; PASSINO. Ictiología. México: AGT Editor, S.A., 1984. 489 p.

LAWSON, Thomas. Fundamentals of Aquacultural Engineers. Estado Unidos: Chapman & Hall. 1995. 355 p.

NATURAL ENVIRONMENTAL SYSTEMS, L.L.C (online). Dallas, TX (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en Internet: URL: <http://ambientalnatural.com.mx/Article.php?ArticleSKU=Algae-Growth>

ODUM, P. Eugene. Ecología. México, D.F.: Editorial Interamericana, 1993. p. 504

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. El estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2010. Roma: Departamento de Pesca y Acuicultura, 2010. 219 p. (Citado 8 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: <http://www.fao.org/docrep/013/i1820s/i1820s02.pdf>

PALACIOS, Pedro José. Evaluación comparativa de dos estimulantes de crecimiento tipo probiótico y prebiótico en el levante y ceba del sábalo amazónico (*Brycon melanopterus* COPE, 1872). Pasto, 2007, 147 p. Trabajo de grado (Ingeniero en Producción Acuícola). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Programa de Ingeniería en Producción Acuícola.

PICA, Yolanda; RONCO, Alicia; DÍAZ, María. Ensayo de toxicidad crónica con *Selenastrum capricornutum* (*Pseudokirchneriella subcapitata*) método de enumeración celular basado en el uso del hemocitómetro Neubauer. Canadá: Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad del agua. Documento 5. (Citado el 15 de Septiembre de 2011). Disponible en Internet: URL: http://web.idrc.ca/fr/ev-84467-201-1-DO_TOPIC.html

PLITT, Laura. El Océano Ártico, un futuro mar ácido. BBC Mundo, 6 de Octubre 2009 (Citado el 4 Febrero 2010). Actualizado continuamente. Disponible en Internet: URL: http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia_tecnologia/2009/10/091006_1029_oceano_lp.shtml

REYES, Pedro. Bioestadística aplicada. México: Publimes, 1985. 217 p.

RODRÍGUEZ, Horacio y ANZOLA, Eduardo. Calidad del agua en acuicultura continental. Bogotá, Colombia: Instituto nacional de pesca y acuicultura (INPA). 1995. 437 p.

ROLDÁN, Gabriel y RAMÍREZ, John. Fundamentos de Limnología neotropical. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia, 2008. 440 p.

RUSSELL, J y LARENA, A. Química. España: MacGraw-Hill, 1989. 980 p.

SCOR/IOC, Symposium Planning Committee. The Ocean in a high-CO₂ world. Oceanography: Vol.17, No.3, 2004 (Citado 13 Febrero 2012). Disponible en Internet: URL: http://www.tos.org/oceanography/issues/issue_archive/issue_pdfs/17_3/17.3_scor_ioc.pdf

SKOMOROWSKI, Zenin. Do it yourself CO₂ injection for the planted Aquarium. Michigan, United States: KWAS. (Citado 12 Febrero 2012) Disponible en Internet: URL: <http://www.kwas.ca/Articles/article3.pdf>

SNEDECOR, George W y COCHRAN, William G. Statistical Methods: Iowa, State University Press, 8ª edición. 1989. 503 p.

THE FISHSITE.COM (online). La importancia de la medición de dióxido de carbono en la Acuicultura. Inglaterra, Julio 2005 (Citado el 4 Febrero 2010). Actualizado continuamente. Disponible en Internet: URL: http://translate.google.com.co/translate?hl=es&langpair=en|es&u=http://www.thefishsite.com/articles/103/the-importance-of-measuring-carbon-dioxide-in-aquaculture&prev=/translate_s%3Fhl%3Des%26q%3DCO2%2Ben%2Bacuicultura%26tq%3DCO2%2Bin%2Baquaculture%26sl%3Des%26tl%3Den

TIMMONS, Michael; EBELING, James; WHEATON, Fred; SUMMERFELT, Steven; VINCI, Brian. Sistema de recirculación para acuicultura. Chile: Fundación Chile, 2002. 748 p.

TRATADO DE COOPERACIÓN AMAZÓNICA. Piscicultura amazónica con especies nativas. Lima, Perú: SECRETARIA PRO – TEMPORE, Agosto 2002. (Citado 4 Febrero, 2011). Disponible en Internet: URL: <http://www.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/iap/iap1/TEXT001A.htm#TopOfPage>

VEGAS, Manuel. Ictiología. Cali, Colombia: Universidad del Valle, 1977. 268 p.

W. HILL, Richard. Fisiología animal comparada: un enfoque ambiental. Barcelona, España: Reverte, 1980. 901 p. (Citado 18 Noviembre 2011). Disponible en Internet: URL: http://books.google.com.co/books?id=w7aoEY-_48EC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

WEDLER, Eberhard. Introducción en la Acuicultura con énfasis en los neotropicos. Santa Marta, Colombia: Litoflash, 1998. 388 p.

ZANIBONI, Evoy, REYNALTE, David y WEINGARTNER, Marcos. Potencialidad del género Brycon en la piscicultura brasileña. Medellín, Colombia: Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, Abril – Junio 2006 (Citado el 4 Febrero 2010). Disponible en Internet: URL: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-06902006000200017&script=sci_arttext

ANEXOS