

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE DOS EQUIPOS DE AIREACIÓN PARA  
ACUACULTURA, EN LA TRANSFERENCIA DE OXÍGENO ATMOSFÉRICO EN  
CULTIVOS INTENSIVOS DE TILAPIA ROJA (*Oreochromis sp.*), EN JAULONES, EN  
LA REPRESA DE BETANIA, DEPARTAMENTO  
DEL HUILA, COLOMBIA**

**HERNAN ALBERTO VELA MELO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA EN PRODUCCION ACUICOLA  
PASTO, COLOMBIA  
2009**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE DOS EQUIPOS DE AIREACIÓN PARA ACUACULTURA, EN LA TRANSFERENCIA DE OXÍGENO ATMOSFÉRICO EN CULTIVOS INTENSIVOS DE TILAPIA ROJA (*Oreochromis sp.*), EN JAULONES, EN LA REPRESA DE BETANIA, DEPARTAMENTO DEL HUILA, COLOMBIA**

**HERNAN ALBERTO VELA MELO**

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

**Presidente**  
**FERNANDO RODRIGUEZ BUSTOS**  
**Biólogo Marino, M. Sc. en Acuicultura**

**Copresidente**  
**MARIO DAVID DELGADO GOMEZ**  
**Ingeniero en Producción Acuícola**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA EN PRODUCCION ACUICOLA**  
**PASTO, COLOMBIA**  
**2009**

**“Las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de su autor”.**

**Artículo 1º del Acuerdo No 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

**FERNANDO RODRÍGUEZ BUSTOS**  
Presidente de Tesis

---

**MARIO DAVID DELGADO GOMEZ**  
Copresidente de Tesis

---

**ROBERTO GARCÍA CRIOLLO**  
Jurado Delegado

---

**WILMER RENÉ SANGUINO ORTIZ**  
Jurado

**San Juan de Pasto, 30 mayo de 2009**

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a:

- FERNANDO RODRÍGUEZ BUSTOS.** Biólogo Marino M. Sc. en Acuicultura. Auburn University.
- MARIO DAVID DELGADO GOMEZ** Ingeniero en Producción Acuícola. Profesor Universidad de Nariño
- ROBERTO GARCÍA CRIOLLO** Ingeniero en Producción Acuícola. Profesor Universidad de Nariño.
- WILMER SANGUINO ORTIZ.** Ingeniero en Producción Acuícola. Director Programa Ingeniería en Producción Acuícola.
- MARCO ANTONIO IMUÉS F.** Zootecnista.  
Profesor Universidad de Nariño.
- JORGE NELSON LÓPEZ M.** MVZ, M.sc., Ph.D (C).
- JULIA MEDINA ARAUJO** Ingeniera en Producción Acuícola

A los directivos, y trabajadores de ACUAGRANJA LTDA.

Programa Ingeniería en Producción Acuícola de la Universidad de Nariño.

A las personas que de alguna manera ayudaron y facilitaron el desarrollo y finalización de este trabajo, especialmente a la Ing. Julia Medina Araujo, que en la distancia, fue vocera del desarrollo de esta investigación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres quienes me brindaron su amor, confianza, apoyo y paciencia incondicional; a mis hermanas, mis mejores amigas y en especial, a mi hija María José, quien por existir, hace de mi vida lo que hoy en día soy. La amo con mi alma y corazón como el amor de Dios. A mi familia, que siempre con su amor y sus valiosos valores me dieron su apoyo, gracias a todos, por creer en mí y permitirme ser quien soy. Dios los bendiga por siempre y todo bien.

**Hernán Alberto Vela Melo**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
	17
1	17
2	18
3	19
3.1	19
3.2	19
4	20
4.1	20
4.1.1	21
4.1.2	25
4.1.3	26
4.1.4	26
4.1.5	27
4.1.6	28
4.2	28
4.3	29
4.3.1	30
4.3.2	33
4.4	34
4.5	36
4.6	37
4.7	38
4.8	40
4.8.1	40
4.8.2	40
4.8.3	41
4.9	42
4.9.1	42
5	43
6	44
6.1	44
6.2	45
6.3	47
6.4	47
6.5	47
6.6	47
6.7	48
6.8	49
6.8.1	49
6.8.2	51
6.8.2.1	51
6.8.2.2	52
6.8.2.3	54
6.8.3	55
6.8.3.1	56
6.8.3.2	58
6.8.4	58
6.8.5	58

6.8.5.1	Demanda Biológica de Oxígeno en cada tratamiento (TOD)	58
6.8.6	Parámetros físico-químicos.	62
6.8.7	Muestreos	64
6.9	TRATAMIENTOS	65
7	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	67
7.1	VARIABLES EVALUADAS	68
7.1.1	Variables para calidad de agua.	68
7.1.1.1	Oxígeno disuelto.	68
7.1.1.2	Temperatura.	68
7.1.1.3	pH.	68
7.1.1.4	Amonio.	68
7.1.1.5	Dureza.	68
7.1.2	Variables de parámetros productivos.	68
7.1.2.1	Incremento de peso día (IP)	68
7.1.2.2	Conversión alimenticia aparente.	69
7.1.2.3	Mortalidad.	69
7.1.3	Variables para la evaluación de equipos.	69
7.1.3.1	Kla <sub>t</sub> .	69
7.1.3.2	Kla <sub>20</sub> .	70
7.1.3.3	SOTR.	70
7.1.3.4	SAE.	70
7.1.4	Variables para la determinación del número de aireadores.	71
7.1.4.1	Demanda total de oxígeno (TOD).	71
7.1.4.2	Demanda de Oxígeno (DO).	71
7.1.4.3	Métodos de medición de la productividad acuática.	71
7.1.4.4	Tasa de transferencia de oxígeno a 20°C.	72
7.1.4.5	Tasa de transferencia de oxígeno en función del SOTR.	72
7.2	ANÁLISIS PARCIAL DE COSTOS.	73
8	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	74
8.1	PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA.	74
8.1.1	Oxígeno disuelto.	74
8.1.2	Temperatura.	76
8.1.3	pH	77
8.1.4	Amonio.	78
8.1.5	Dureza.	78
8.2	PARÁMETROS FISIOLÓGICOS EN LA MUESTRA ESTUDIADA, DURANTE EL PERIODO DE INVESTIGACIÓN.	79
8.2.1	Incremento de peso día.	79
8.2.2	Conversión alimenticia.	80
8.2.3	Porcentaje de Mortalidad	80
8.3	DETERMINACIÓN DE SOTR Y SAE EN LOS DOS SISTEMAS	82
8.4	DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA TOTAL DE OXÍGENO Y NÚMERO DE AIREADORES NECESARIOS EN LA REPRESA, PARA CADA TRATAMIENTO.	
	ANÁLISIS PARCIAL DE COSTOS	
8.5	Relación Beneficio Costo	83
8.5.1	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
9	Conclusiones	84
9.1	Recomendaciones	86
9.2	BIBLIOGRAFÍA	86
	ANEXOS	88



## LISTA DE TABLAS

		<b>Pág.</b>
Tabla 1.	Solubilidad del oxígeno (mg/l) en función de la T° y la salinidad.	24
Tabla 2.	Parámetros para el cultivo de tilapia roja ( <i>Oreochromis sp.</i> )	41
Tabla 3.	Medidas de un Jaulón utilizados en la investigación.	45
Tabla 4.	Materiales y equipos con sus funciones y/o usos	48
Tabla 5.	Datos de media, desviación estándar y coeficiente de variación, para las variables oxígeno, temperatura, pH, amonio y dureza, obtenidos en los tres tratamientos.	74
Tabla 6	Datos de media, desviación estándar y coeficiente de variación, para las variables incremento de peso, conversión alimenticia y mortalidad, obtenidos en los tres tratamientos.	79
Tabla 7.	Registro de datos obtenidos en el tanque, para determinación de SOTR y SAE en los dos sistemas.	82
Tabla 8.	Datos obtenidos para la demanda total de oxígeno y número de aireadores para cada tratamiento.	83
Tabla 9.	Costos parciales de producción de Tilapia roja por tratamiento.	84
Tabla 10.	Costos e ingresos de producción durante el periodo de investigación.	85

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Oscilación diaria (noche-día) del oxígeno disuelto en estanques de cultivo debido a la fotosíntesis y respiración.	22
Figura 2. Consumo de O <sub>2</sub> por los peces en acuarios a diferentes temperaturas del agua.	23
Figura 3. Crecimiento de un pez, bajo diferentes concentraciones de CO <sub>2</sub> .	27
Figura 4. Aireador de paletas SA-A220.	32
Figura 5. Aireador splash AQ-S002	34
Figura 6. Jaulón de estructura modular.	37
Figura 7. Ubicación de los sistemas de aireación dentro de los jaulones	38
Figura 8. Represa de Betania	44
Figura 9. Tanque de prueba para determinación de SAE y SOTR	46
Figura 10. Jaulones experimentales para la evaluación de equipos de aireación	46
Figura 11. Adecuación del tanque.	49
Figura 12. Destape del tanque.	49
Figura 13. Vaciado del tanque	50
Figura 14. Medición del tanque.	50
Figura 15. Medición de parámetros del agua del tanque	51
Figura 16. Pesaje Cloruro de Cobalto	52
Figura 17. Pesaje de Sulfito de Sodio	52
Figura 18. Medidas de seguridad para manipular químicos	52
Figura 19. Dilución de Químicos.	53
Figura 20. Mezcla del Sulfito de Sodio y Cloruro de Cobalto	53
Figura 21. Instalación del equipo de paletas.	54
Figura 22. Mezcla de químicos.	54
Figura 23. Medida de oxígeno mínima.	55
Figura 24. Recubrimiento del tanque	55
Figura 25. Pesaje Cloruro de Cobalto	56
Figura 26. Pesaje del Sulfito de Sodio	56
Figura 27. Instalación equipo splash	56
Figura 28. Aplicación de Químicos	57
Figura 29. Mezcla de químicos con el equipo splash.	57
Figura 30. Medición de Oxígeno mínima.	58

Figura 31.	Botellas claras y oscuras.	59
Figura 32.	Botellas listas para sumergir.	60
Figura 33.	Botellas sumergidas y aseguradas.	60
Figura 34.	Medición de oxígeno inicial.	61
Figura 35.	Medición de oxígeno final.	61
Figura 36.	Kit de Análisis de agua FF1A HACH.	63
Figura 37.	Oxímetro YSI.	63
Figura 38.	Captura para el muestreo.	64
Figura 39.	Pesaje de animales.	64
Figura 40.	Jaulón testigo.	65
Figura 41.	Jaulón con aireador de paletas.	65
Figura 42.	Jaulón con aireador splash.	66
Figura 43.	Distribución de la concentración de oxígeno disuelto durante el periodo de investigación expresado en (mg/l), de los tratamientos	75
Figura 44.	Comportamiento de la temperatura durante diferentes horas del día, en los tres tratamientos.	76
Figura 45.	Comportamiento del pH durante el periodo de investigación en los tres tratamientos.	77
Figura 46.	Tendencia del incremento de peso, en los muestreos, durante el periodo de investigación, en los tres tratamientos.	80
Figura 47.	Porcentaje de mortalidad presentada en los tres tratamientos durante la investigación.	81

## LISTA DE ANEXOS

		<b>Pág.</b>
Anexo A	Protocolo para la obtención de la rata de transferencia de oxígeno estándar (SOTR) y la eficiencia estándar de aireación (SAE) del aireador de paletas.	93
Anexo B	Protocolo para la obtención de la rata de transferencia de oxígeno estándar (SOTR) y la eficiencia estándar de aireación (SAE) del aireador splash.	94
Anexo C	Calculo del SOTR y el SAE, de los equipos de aireación, en hoja electrónica Excel.	95
Anexo D	Fórmulas para el cálculo de SOTR y SAE, en hoja electrónica Excel.	96
Anexo E	Valores de fotosíntesis líquida, bruta y respiración por medio de las botellas claras y oscuras para los tres tratamientos.	97
Anexo F	Valores de la respiración de la columna y de fondos de cada uno de los tratamientos con sistemas de aireación.	98
Anexo G	Calculo del número de aireadores para cada sistema con aireación, en hoja electrónica Excel.	99
Anexo H	Fórmulas para el cálculo del número de aireadores para cada sistema con aireación, en hoja electronica Excel.	100
Anexo I	Registro de oxígeno disuelto (mg/l) en los tres tratamientos evaluados en la represa de Betania	101
Anexo J	Registro de temperatura (°C), en los tres tratamientos (testigo, paletas, splash) evaluados en la represa de Betania.	102
Anexo K	Registro de pH, en los tres tratamientos (testigo, paletas, splash) evaluados en la represa de Betania.	103
Anexo L	Registro de amonio (mg/l), en los tres tratamientos (testigo, paletas, splash) evaluados en la represa de Betania.	104
Anexo M	Registro de dureza (mg/l), en los tres tratamientos (testigo, paletas, splash) evaluado en la represa de Betania.	105
Anexo N	Análisis de varianza para la variable Oxígeno.	106
Anexo Ñ	Análisis de varianza para la variable Temperatura.	107
Anexo O	Análisis de varianza para la variable pH.	108
Anexo P	Análisis de varianza para la variable amonio.	109
Anexo Q	Análisis de varianza para la variable dureza.	110
Anexo R	Análisis de varianza para incremento de peso (IP) según Tratamiento	111
Anexo S	Análisis de varianza para conversión alimenticia (CA) según Tratamiento	112 113
Anexo T	Prueba de Brand Snedecor para variable mortalidad	

## GLOSARIO

**Aireación:** proceso mecánico por medio del cual se aumenta el nivel de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua.

**Amonio:** radical monovalente formado por un átomo de nitrógeno y cuatro de hidrógeno, y que en sus combinaciones tiene semejanzas con los metales alcalinos.

**Circulación:** proceso mediante el cual se mezcla la columna del agua, para asegurarse que el contenido en oxígeno sea uniforme.

**Cloruro de cobalto:** polvo cristalino azul que en presencia de agua asume diferentes formas; entre ellas, la más estable tiene el aspecto de cristales rojo rubí que son solubles en el agua y en alcohol. En esta investigación se usó como catalizador del Sulfito de Sodio, para desoxigenar el agua de las pruebas.

**Tasa de Conversión Alimenticia:** El peso seco de alimento requerido para producir una unidad de peso húmedo de peces.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** oxígeno disuelto y requerido por los organismos para la descomposición aeróbica de la materia orgánica presente en el agua. Da la proporción en que desaparece el oxígeno de una muestra de agua y es utilizado como un indicador de la calidad del agua de efluentes residuales. Los datos utilizados para los propósitos de esta clasificación deberán ser medidos en 20 grados Celsius y por un periodo de 5 días.

**Dióxido de carbono:** también denominado óxido de carbono (IV) y anhídrido carbónico, es un gas pesado incoloro e incombustible, es un componente normal de la atmósfera (0.03%).cuyas [moléculas](#) están compuestas por dos [átomos](#) de [oxígeno](#) y uno de [carbono](#). Su [fórmula química](#) es CO<sub>2</sub>.

**Dureza:** es la medida de concentraciones de los iones de Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> expresadas en miligramos por litro.

**Eficiencia Estándar de Aireación (SAE):** cantidad de oxígeno que un aireador puede transferir en una hora, para un cuerpo de agua clara a 20 °C, dividido por una unidad de energía.

**Hipoxia:** Trastorno en el cual el cuerpo por completo (hipoxia generalizada), o una región del cuerpo (hipoxia de tejido), se ve privado del suministro adecuado de [oxígeno](#).

**Mortalidad:** el número proporcional de fallecimientos en una población en un tiempo determinado.

**Oxígeno:** metaloide gaseoso, esencial a la respiración, algo más pesado que el aire y parte integrante del agua, de los óxidos, de casi todos los ácidos y de la mayoría de las sustancias orgánicas. Núm. Atómico 8. Símbolo: O.

**Oxígeno disuelto:** es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables.

**Oxímetro:** equipo que sirve para medir y monitorear la cantidad de oxígeno, presente en el agua.

**pH:** logaritmo negativo de la concentración del ion hidrogeno, por virtud del cual se expresa el grado de acidez o alcalinidad de un líquido.

**Presión barométrica:** es la presión o el peso que ejerce la atmósfera en un punto determinado. La medición puede expresarse en varias unidades de medidas: hectopascales, milibares, pulgadas o milímetros de mercurio (Hg).

**Rata de Transferencia de Oxígeno Estándar (Kg O<sub>2</sub>/h) (SOTR):** cantidad de oxígeno que un aireador puede transferir en una hora, para un cuerpo de agua clara a 20°C.

**Salinidad:** cantidad proporcional de sales que contiene el agua del mar.

**Sistema Splash:** es un sistema saturador de oxígeno por salpique, que reduce la estratificación y hace más uniforme la distribución de oxígeno dentro del estanque.

**Sulfito de Sodio:** sustancia incolora, cristalina con buena solubilidad en el agua y mala solubilidad en la mayoría de los [disolventes](#) orgánicos con excepción de la [glicerina](#), que disminuye notablemente con rapidez la oxidación por el oxígeno, absorbe el oxígeno, a través de un catalizador como el Cloruro de Cobalto.

**Temperatura:** Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente.

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la estación piscícola LAS BRISAS, ubicada en la vereda Vilu, en el municipio de Yaguará, distando a 49 km del perímetro urbano, entre el municipio de Yaguará y la ciudad de Neiva, del Departamento del Huila.

El proyecto tiene como objetivo evaluar la eficiencia de dos sistemas electromecánicos de aireación, de paletas y el nuevo sistema splash modelo AQ-S002, en un sistema Súper – Intensivo de Tilapia Roja (*Oreochromis sp.*), en jaulones.

Para el desarrollo de este proyecto se determino, en primera estancia, la transferencia de oxígeno atmosférico al agua, de cada equipo, en un tanque de concreto de 50m<sup>3</sup>, con la ayuda de elementos químicos e instrumentos digitales se realizo la medición de parámetros físico-químicos del agua iniciales y finales de las pruebas.

Los parámetros físico-químicos también fueron registrados y evaluados en el embalse de Betania, lugar donde se ubicaron los sistemas de aireación, se evaluó por medio del sistema de botellas de respiración, la cantidad de oxígeno producido y consumido por el cuerpo de agua en la zona de los jaulones; como también parámetros productivos como incremento de peso, conversión alimenticia, mortalidad y un análisis parcial de costos.

Los equipos de aireación, presentaron diferencias en la transferencia de oxígeno atmosférico al agua, siendo más eficiente el sistema splash con un SAE de de 1,15 Kg O<sub>2</sub>/Kw/h, mientras que el sistema de paletas obtuvo un SAE de 0,95 Kg O<sub>2</sub>/Kw/h.

Los sistemas de aireación ayudan a la producción reduciendo la mortalidad de animales, aumentando las tasa de oxígeno en el sistema acuícola, logran una circulación, desgasificación y una homogeneidad de la temperatura en la columna de agua beneficiando la producción, además, la adquisición de estos equipos se verá reflejada y saldada en la utilidad y rentabilidad de la producción.

## ABSTRACT

This research will develop in the fish station LAS BRISAS, Vilu located in the village in the municipality of Yaguará, distant to 49 km from the city limits, between the town of Yaguará and the city of Neiva, Huila Department.

The project aims to evaluate the efficiency of two electromechanical systems venting, and the new system pallets splash AQ-S002 model in a Super – Intensive Red Tilapia (*Oreochromis sp.*) In cages.

To develop this project was determined, first, the transfer of atmospheric oxygen to water, every team in a concrete tank of 50m<sup>3</sup>, with the help of chemical elements and digital instruments was performed to measure physical and chemical parameters of water initial and final testing.

The physical and chemical parameters also were recorded and evaluated in the Bethany Reservoir, where were located aeration systems was evaluated by means of the respiration bottles, the amount of oxygen produced and consumed by the body of water in the area of the cages, as well as production parameters as weight gain, food conversions, mortality and partial analysis of costs.

The aeration equipment, showed differences in the transfer of atmospheric oxygen to water, being more efficient system with a SAE splash of 1.15 Kg O<sub>2</sub>/Kw/h, while the system was an SAE Palettes 0.95 Kg O<sub>2</sub>/Kw/h.

Aeration systems help production by reducing the mortality of animals, increasing the rate of oxygen in the aquaculture system, achieve a circulation, degassing and a homogeneous temperature in the water column production benefiting also the acquisition of these equipment will be reflected and settled in the utility and profitability of production.



## INTRODUCCIÓN

La aireación es el proceso mecánico por el cual se procura el contacto físico del aire con el agua, es decir, transferir moléculas gaseosas, principalmente oxígeno, del aire atmosférico al agua para producir cambios benéficos en la calidad de la misma y a las especies acuícolas producto de explotación.

Existen varias alternativas para lograr la aireación de un cuerpo de agua, como la aireación por gravedad, aireación de superficie, aireación por difusión y aireación por tubería, todas con diferentes eficiencias pero con el único fin de mejorar la calidad de agua y la producción acuícola, existente hoy en día en el planeta.

Esto ha generado, a su vez, la necesidad de establecer técnicas de producción y cultivo para intensificar la producción de pescado e impulsar métodos de comercialización.

En este trabajo se evaluó la segunda alternativa, buscando la eficiencia de transferencia de oxígeno al agua por medio de dos tipos de aireadores electromecánicos, comparando su influencia tanto económicamente como en los resultados productivos en los cultivos de Tilapia roja (*Oreochromis sp.*), presentes en el embalse de Betania, Huila, Colombia.

## 1. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La acuicultura, actualmente presenta un importante desarrollo en producción de toneladas de productos cárnicos como en avances tecnológicos, según: “el documento que soportó el acuerdo nacional de competitividad de la piscicultura (2005), la cual está creciendo a un ritmo anual del 30%”<sup>1</sup>.

Por lo tanto, para lograr esta producción piscícola hay que controlar de manera efectiva la interrelación de numerosos parámetros de calidad de agua, para optimizar la salud de los peces y sus tasas de crecimiento, esto se puede hacer en gran medida y no en su totalidad, por medio de los sistemas de aireación electromecánicos.

Según Vinatea, “gracias a la aireación, se logra un mejoramiento de la calidad de agua, por la distribución homogénea del parámetro mas importante como lo es el oxígeno disuelto y parámetros como la temperatura, pH, salinidad, amonio, alcalinidad, dureza y el dióxido de carbono, en el cuerpo de agua, ya sea en un estanque, un lago, una represa, etc., todo esto contribuyendo a tener una mejor distribución de los peces en la columna de agua, aumento de las densidades de siembra y un incremento de la producción en un menor tiempo”<sup>2</sup>.

Para obtener altas tasas de producción por unidad de volumen, se requiere el cultivo de animales en altas densidades y cantidades razonables de alimento balanceado, deteriorando rápidamente la calidad del agua, si no se controla correctamente.

Con el propósito de evitar estos deterioros en los sistemas productivos, es necesario evaluar la eficiencia de los sistemas de aireación de paletas y el nuevo equipo implantado al mercado, splash, el cual funciona en forma de fuente, con la expulsión de agua hasta una altura de 1.5 m, y se debe utilizar en cuerpos de agua con más de 3 m de profundidad, para evitar la remoción de sólidos del fondo de los recintos acuícolas.

---

<sup>1</sup>ESPEJO, Carlos. Sostenibilidad Acuícola. En: V Seminario Internacional de Acuicultura. (5º: 2005: Bogotá). Memorias del V Seminario Internacional de Acuicultura. Bogotá: Universidad Nacional, 2005. p. 27

<sup>2</sup>VINATEA, Luis. Aireación En: Seminario internacional de Calidad de Agua y Aireación en Acuicultura. (2006: Neiva). Memorias [CD-ROM]. 2006.

## 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál de los dos sistemas de aireación electromecánicos, splash ó paletas, es más eficiente en la transferencia de oxígeno atmosférico, en un sistema súper-intensivo de Tilapia roja (*Oreochromis sp.*), en la etapa de ceiba, cultivadas en jaulones, en el embalse de Betania, Municipio de Yaguará, Departamento del Huila, Colombia?

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la eficiencia de dos sistemas de aireación electromecánicos, en la transferencia de oxígeno atmosférico a cultivos súper – intensivos de Tilapia Roja (*Oreochromis sp.*), en jaulones.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar la Rata de Transferencia de Oxígeno Estándar ( $\text{Kg O}_2/\text{h}$ ) (SOTR), la Eficiencia Estándar de Aireación ( $\text{Kg O}_2/\text{kw/h}$ ) (SAE) y el Coeficiente de Transferencia de Oxígeno ( $\text{h}^{-1}$ ) ( $\text{KlaT}$ ), de los sistemas de aireación.
- Calcular el número de aireadores necesarios en los sistemas productivos mediante la Demanda de Oxígeno Total ( $\text{Kg O}_2/\text{h}$ ) (TOD), en el sitio de cultivo, por medio del método de las botellas claras y oscuras.
- Calcular el incremento de peso, % de mortalidad, conversión alimenticia aparente, consumo de alimento de la Tilapia roja durante el periodo de ceba, con cada uno de los sistemas de aireación.
- Analizar el comportamiento de parámetros físico – químicos del agua tales como oxígeno, temperatura, pH, amonio y dureza, en el periodo de ceba, con cada uno de los sistemas de aireación.
- Realizar un análisis de costos parciales, durante la investigación.

## 4. MARCO TEÓRICO

Según Boyd: “los peces realizan en el agua procesos de respiración, digestión, excreción y de reproducción. La calidad del agua dentro de los jaulones afecta estas funciones y por lo tanto, es determinante en la salud de los peces y el éxito de la piscifactoría.

También menciona que la acumulación de materia orgánica en el suelo de los cuerpos de agua, por el crecimiento fuera de ciclo, causa el agotamiento severo del oxígeno en la zona sedimento-agua.

El mismo autor menciona que las altas tasas de producción no son posibles sin una cierta forma de aireación y de circulación, para hacer frente a las altas necesidades de alimentación y el agotamiento del oxígeno.

Continúa diciendo que la necesidad de la aireación ahora es aceptada sobre todo, por la industria acuícola, pero, aun existe cierta controversia en cuanto a cuál es el sistema mejor diseñado, operacionalmente eficiente, económico y que brinde una buena tasa de transferencia de aireación y circulación.

La aireación y la circulación del agua es una de las condiciones más esenciales de la acuicultura intensiva y súper-intensiva. Estas dos funciones permiten mejorar la calidad de agua en parámetros importantes como el oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, amonio y gas carbónico”.<sup>3</sup>

### 4.1 CALIDAD DE AGUA.

Teniendo en cuenta el criterio de Ayunan<sup>4</sup>, la calidad natural del agua es el conjunto de características físicas, químicas y biológicas presentes en ríos, lagos, manantiales, subsuelo o el mar.

El mismo autor, menciona que se han establecido criterios según sus usos, sean potable, doméstico, urbano, industrial, agrícola o ganadero; según la utilización de cursos de agua, para: baño, pesca, navegación, recepción de efluentes residuales; y según el sostenimiento de especies, la contaminación causa la alteración de esta calidad natural del agua y puede impedir que sea adecuada para el uso destinado. Y la manera de estimar la calidad del agua ha sido a partir de parámetros físicos, químicos y biológicos por comparación con criterios definidos como estándares de acuerdo al uso.

---

<sup>3</sup>BOYD, Claude E. Calidad del agua en estanques para la acuicultura. Estación del experimento de la agricultura, Auburn: Universidad Castaña, 1990. p.23.

<sup>4</sup>AYUNAN, A. W. Sistemas de producción en estanques. Prácticas de gerencia de calidad del agua. New York: J.E. Lannan, R. O., 1986. p.141

Timmons et al<sup>5</sup> aseguran que aunque el medio acuático es un ecosistema complejo que está formado por diversas variables de calidad de agua, es afortunado el hecho de que sólo unos pocos de estos parámetros jueguen roles decisivos. Los parámetros en cuestión son la temperatura, los sólidos en suspensión, el pH y las concentraciones de oxígeno disuelto, amoníaco, nitrito, CO<sub>2</sub> y alcalinidad. Cada parámetro por si solo es importante, pero lo que influye en la salud y la tasa de crecimiento de los peces es el agregado e interrelación de todos los parámetros.

Los mismos autores afirman, que cada parámetro de calidad de agua influye e interactúa con otros parámetros, algunas veces de manera compleja. Las concentraciones de cada parámetro que serían inocuas en una situación, podrían ser tóxicas en otra.

**4.1.1 Oxígeno disuelto.** Boyd afirma: “La variable ambiental más importante y crítica de la calidad de agua en la acuicultura es el oxígeno.

También considera que existen cuatro fuentes de oxígeno que proveen de este elemento a los estanques de cultivo:

- Fitoplancton y plantas acuáticas (fotosíntesis)
- Oxígeno atmosférico (difusión)
- Mediante el oxígeno de agua adicionada (renovación de agua)
- Oxígeno a partir de aireadores mecánicos.

Menciona que la dinámica real de la demanda en cultivos súper-intensivos depende de varios factores químicos, físicos y biológicos como: la temperatura, salinidad, consumo de la especie cultivada, cantidad de vegetación y el número de animales acuáticos que existan en el cuerpo de agua”<sup>6</sup>.

Vinatea<sup>7</sup> menciona que cuando la actividad fotosintética comienza a aumentar progresivamente durante las primeras horas de la mañana, el oxígeno disuelto también comienza a incrementar. El valor máximo de oxígeno disuelto en varios casos es mucho más alto que el nivel de saturación y puede ser observado en el atardecer. Al anochecer la actividad fotosintética disminuye rápidamente, dando lugar a procesos de respiración, lo que provoca una disminución de oxígeno disuelto en el agua, (Ver Figura 1).

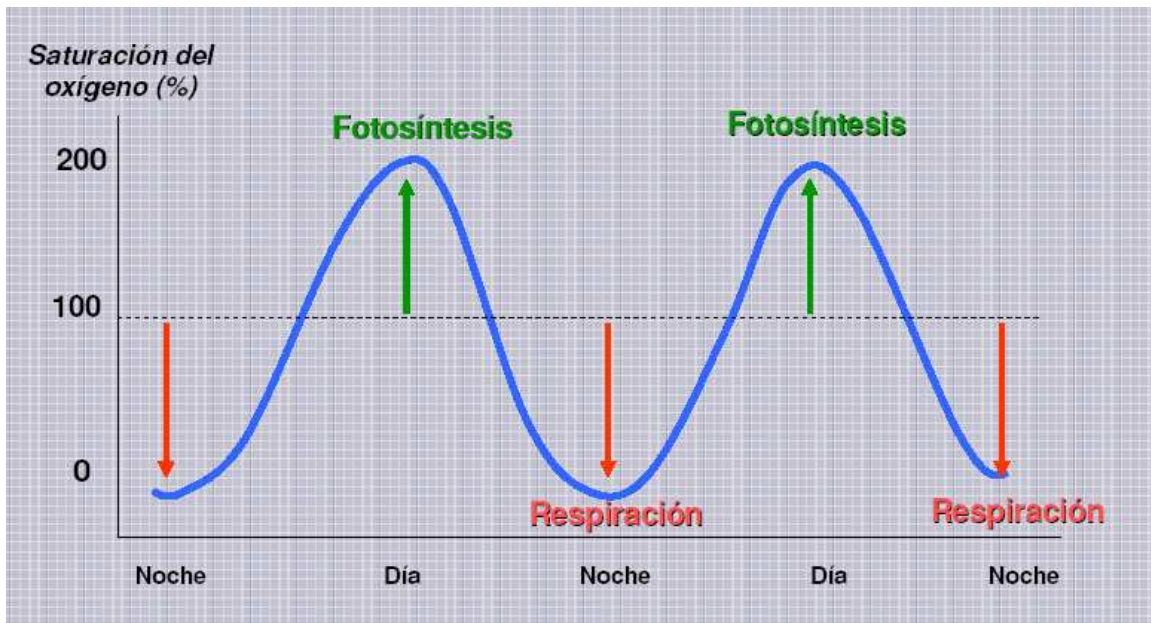
**Figura 1. Oscilación diaria (noche-día) del oxígeno disuelto en estanques de cultivo debido a la fotosíntesis y respiración.**

---

<sup>5</sup> TIMMONS M. EBELING J. WHEATON F. SUMMERFELT S. VINA B. Sistemas de recirculación para la acuicultura. Chile: Fundación Chile. 2002. p.19.

<sup>6</sup>BOYD, Op. Cit, p. 30, 31.

<sup>7</sup> VINATEA, Luis. Principios químicos de calidad de agua en acuicultura. Brasil: Universidad Federal de Santa Catarina, Departamento de Acuicultura. 2004. p. 35.



ARIAS, Alfredo. En: Taller bases para el cultivo de peces ornamentales. Memorias. Pasto: Universidad de Nariño, 2008. p. 5.

Según Lehninger<sup>8</sup>, las células fotosintéticas (plantas) sintetizan compuestos orgánicos, tales como la glucosa, a partir del dióxido de carbono atmosférico y el agua, teniendo como fuente de energía la luz solar. Las células heterótrofas (animales) utilizan los compuestos orgánicos, producidos por las células fotosintéticas, como combustible de construcción: el dióxido de carbono, formado como producto final de su metabolismo, vuelve a la atmósfera para ser utilizado nuevamente por las células fotosintéticas. La mayor parte de los organismos fotosintéticos producen oxígeno como producto final, que, a su vez, es utilizado por los organismos heterótrofos para oxidar los combustibles.

Chien,<sup>9</sup> manifiesta que la fuente más importante de oxígeno, para las especies de cultivo procede del fitoplancton, a partir de la fotosíntesis. La difusión de oxígeno atmosférico dentro del agua es considerado también como una fuente, aunque la mayoría de veces se trate de un proceso lento, excepto en condiciones de fuerte turbulencia y aireación.

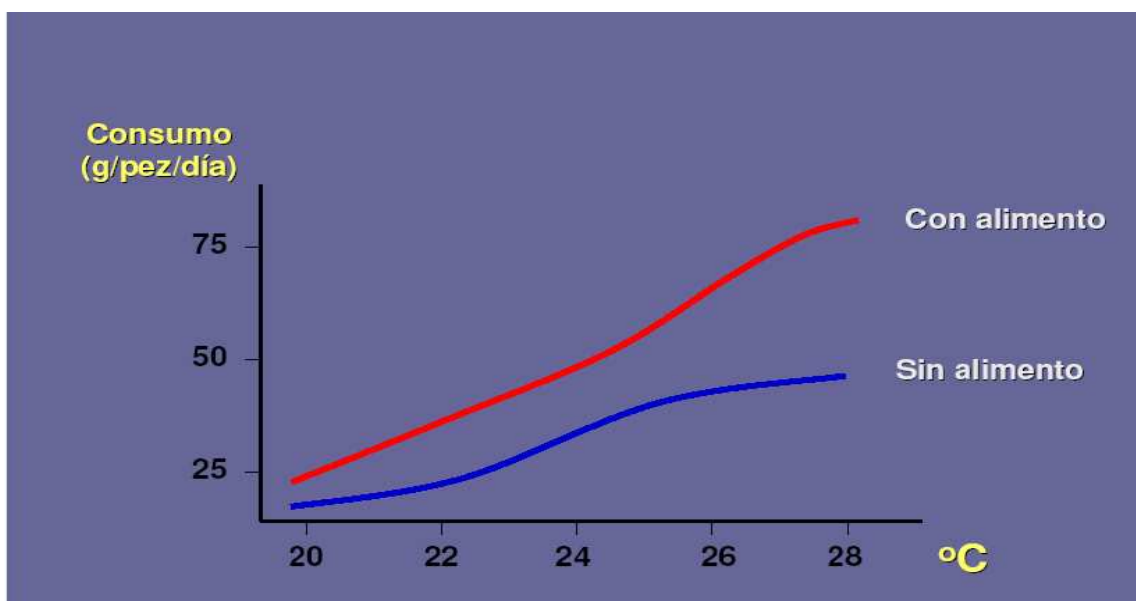
Agrega, que las investigaciones realizadas en diferentes pisos térmicos, han demostrado que bajo condiciones normales, durante periodos de 24 horas, hay fluctuaciones importantes del nivel de oxígeno en el agua, debido a los cambios de

<sup>8</sup> LEHNINGER, A. Bioquímica. 2a Edición. Barcelona: Ediciones Omega, 1979. p. 562.

<sup>9</sup> CHIEN, Y. Water quality requirements and management for marine shirmp culture. USA: World Aquaculture Society, 1992. p. 228.

temperatura y otros factores, lo que crea problemas como el bajo consumo de alimento, lento crecimiento, aumento de estrés y susceptibilidad a enfermedades, además muchos o aun todos los peces pueden morir por la carencia de oxígeno, (Ver Figura 2)

**Figura 2. Consumo de O<sub>2</sub> por los peces en acuarios a diferentes temperaturas del agua.**



ARIAS, Alfredo. Op. Cit., p.12.

Debido a estas complejidades, Rappaport y Marek determinan<sup>10</sup>: “Agregar aire directamente al agua es lo que se denomina aireación, logrando el aumento de los niveles de oxígeno disuelto, beneficiando una conversión alimenticia, alta supervivencia y beneficios adecuados”.

De acuerdo con Vinatea<sup>11</sup>, dependiendo de la cantidad de oxígeno presente en la unidad de cultivo, los organismos acuáticos pueden enfrentar cuatro situaciones diferentes: independencia de oxígeno de 8,0 a 9,0 mg/l (el animal tiene oxígeno

---

<sup>10</sup> RAPPAPORT, Starring y MAREK, Pet. Resultados de pruebas en el régimen de oxígeno de varios sistemas en estanques experimentales de peces. Bamigdeh: Acribia, 1976. p.35.

<sup>11</sup> VINATEA, L. Op. Cit., p.24.



suficiente para realizar satisfactoriamente todas sus actividades metabólicas); dependencia al alimentar de 5,0 a 5,5 mg/l (el animal no dispone de oxígeno suficiente para metabolizar los alimentos ingeridos); dependencia fisiológica de 2,5 a 3,0 mg/l (el animal se nota estresado); y mortalidad de 0,0 a 1,0 mg/l (el animal muere por hipoxia) .

También asegura que la solubilidad de oxígeno en el agua, es aproximadamente 20% del volumen y la cantidad en el aire es 20,9%. Cuando el agua está en contacto con la atmósfera, el oxígeno del aire entra en el agua hasta que la presión de dicho gas en agua y aire es igual.

Esta condición se conoce como equilibrio de saturación. Las concentraciones del equilibrio (saturación) en diversas temperaturas y salinidades se proporcionan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Solubilidad del oxígeno (mg/l) en función de la T° y la salinidad.**

Temperatura (°C)	Salinidad (‰)								
	0	0,5	10	15	20	25	30	35	40
21	8,9	8,6	8,3	8,1	7,9	7,6	7,4	7,2	7,0
22	8,7	8,4	8,2	8,0	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9
23	8,5	8,3	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	6,9	6,7
24	8,4	8,1	7,9	7,7	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6
25	8,2	8,0	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5
26	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4
27	7,9	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3
28	7,8	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2
29	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,5	6,3	6,1
30	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3	6,2	6,0
31	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9

Aquacultural Engineering. Pond water aeration systems. Auburn. Elsevier, 1998, p. 20.

Según Vinatea<sup>12</sup>, el manejo del oxígeno debe permitir que éste caiga a medida que el cultivo se vaya desarrollando. La forma más usual de conseguir esto es a través del recambio de agua o aireación mecánica. Estos métodos son descritos de la siguiente manera:

- a. Recambio de agua. Dependiendo de las condiciones del agua, eventuales recambios de agua pueden ser necesarios, sobre todo cuando se trabaja con altas densidades de organismos. Un recambio de agua para volúmenes grandes de agua, se consideran otros factores:

<sup>12</sup> VINATEA, L. Op. Cit p.143

➤ **Tasa de renovación.** Se puede calcular mediante la fórmula:

$$TR = \frac{[(VB \times T) + P] - (I + E)}{V} \times 100$$

Donde

TR= Tasa de renovación  
VB= Vaciado del recinto (m<sup>3</sup>/día)  
T = Tiempo de llenado por día (h)  
P = Precipitación (m<sup>3</sup>/día)  
I = Infiltración (m<sup>3</sup>/día)  
E = Evaporación (m<sup>3</sup>/día)  
V = Volumen de estanque (m<sup>3</sup>)

b. Aireación mecánica. Una de las grandes preguntas que se hace en acuicultura es cuantos aireadores deben ser usados por unidad de área (hectárea). La respuesta puede ser obtenida a través de cálculos relativamente simples, para realizarlos es preciso conocer el SOTR de los aireadores y la demanda de oxígeno de la unidad de cultivo.

**4.1.2 Temperatura.** La temperatura del cuerpo de los peces, es igual a la temperatura del agua, por lo que se denominan poiquiloterms.

Para Colt, “la temperatura afecta todos los procesos químicos y biológicos, en factores importantes como crecimiento, demanda del oxígeno, requisitos del alimento y eficacia de la conversión del alimento”<sup>13</sup>.

Según Boyd, “cuanta más alta es la temperatura, mayor es el requisito para el oxígeno y alimento y, más rápida es la rata de crecimiento. Las condiciones de temperatura óptima dependerán de la especie que se cultive, estas condiciones necesitarán ser resueltas para asegurar el éxito del crecimiento y de la reproducción”<sup>14</sup>.

**4.1.3 Salinidad.** De acuerdo con Boyd, “Las aguas dulces también contienen una cantidad determinada de sales, aunque ostensiblemente menor que en los mares.

---

<sup>13</sup>COLT, James. Comparación de las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua en función de la temperatura, salinidad y presión. USA. American Fisheries Society. 1984. p.154

<sup>14</sup>BOYD, Op cit, p.43- 45.

El contenido de sales aumenta por los terrenos en contacto con el agua, están en función con la duración del contacto suelo-agua y la disolución de las sales”<sup>15</sup>.

Según Hopkins, “Las aguas tienen una determinada conductividad, que corresponde a la medición de sales disueltas en el agua. Las aguas cargadas con mayor cantidad de sales tendrán una mayor conductividad”<sup>16</sup>.

**4.1.4 Amonio.** Avnimelech afirma: “El amoníaco está presente en dos formas en el agua,  $\text{NH}_3$  el gas o el ion de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Es tóxico cultivar animales en la forma gaseosa y puede causar la irritación de las branquias y problemas respiratorios”<sup>17</sup>.

Boyd comenta que: “El amoníaco es un subproducto de la actividad metabólica de los organismos acuáticos y también es producido por la descomposición del material orgánico. El equilibrio entre las dos formas de amoníaco es dependiente del pH y la temperatura del agua”<sup>18</sup>.

Para Vinatea<sup>19</sup>, el amonio no ionizado (forma gaseosa y primer producto de excreción de los peces) es un elemento tóxico. La toxicidad del amonio en forma no ionizada ( $\text{NH}_3$ ), aumenta con una concentración baja de oxígeno, un pH alto y una temperatura alta. En pH bajos no causa mortalidad. Los valores de amonio deben fluctuar entre 0,01 ppm a 0,015 ppm.

El mismo autor manifiesta que una concentración alta de amonio en el agua causa bloqueo del metabolismo, daño en las branquias y en tejidos vivos, afecta el balance de las sales, produce lesiones en órganos internos, inmunosupresión y susceptibilidad a enfermedades, reducción del crecimiento y sobrevivencia, así como también produce exoftalmia (ojos brotados).

Arias<sup>20</sup>, manifiesta que la tolerancia de los peces hacia este compuesto depende del tipo y tamaño del pez, estado de salud general, cantidad de oxígeno, exceso de anhídrido carbónico y el equilibrio electroquímico.

---

<sup>15</sup>Ibid, p.52.

<sup>16</sup>HOPKINS, John et al. Efectos de la rata de producción con el cambio del agua, calidad de agua en cultivos intensivos en estanques. USA. Jour World Aquaculture Society, 1993. p. 30.

<sup>17</sup>AVNIMELECH, Efectos de la aireación y la mezcla con nitrógeno y la transformación de la materia orgánica en estanques de peces. USA. Aquacultural Engineering, 1992. p.157.

<sup>18</sup> BOYD, Op cit, p.73.

<sup>19</sup> VINATEA, 2006, Op. Cit., p.89.

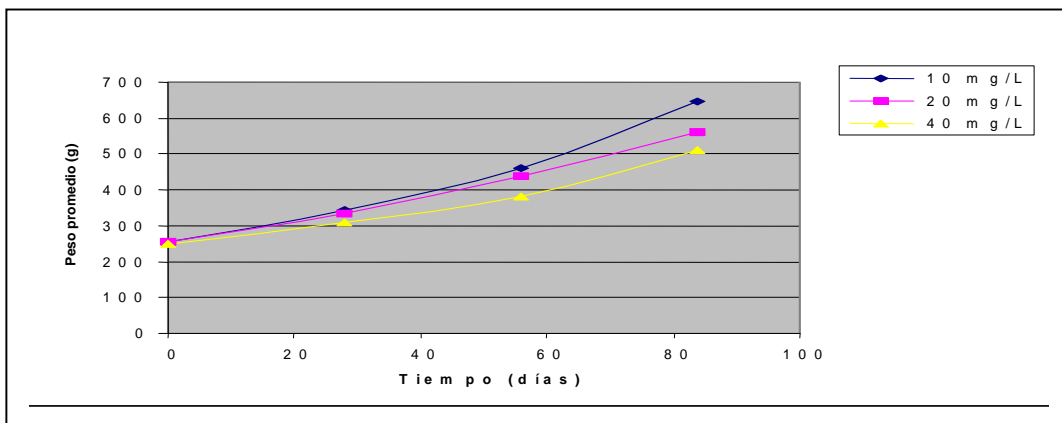
<sup>20</sup> ARIAS, Alfredo. Op. Cit., p.15.

**4.1.5 Dióxido de carbono.** Para Timmons et al<sup>21</sup>, el dióxido de carbono es un producto de la actividad biológica (del metabolismo de los peces, del plancton y degradación de material orgánico), de la cual depende su concentración. Debe mantenerse en un nivel inferior a 2,0 ppm.

Un alto nivel en el agua puede afectar la capacidad de la sangre que tiene el pez de transportar oxígeno a sus tejidos y por lo tanto, puede sufrir de hipoxia\*.

También menciona que la hipoxia causada por exceso de CO<sub>2</sub> puede ocurrir con mayor frecuencia durante el transporte de peces y estanques densamente poblados, donde la cantidad de CO<sub>2</sub> producido por la respiración de los peces puede alcanzar niveles críticos (25 mg/l). Comenta que los niveles críticos de CO<sub>2</sub> son perjudiciales y además la tolerancia de los peces es reducida si el nivel de oxígeno disuelto es bajo, (Ver Figura 3).

**Figura 3. Crecimiento de un pez, bajo diferentes concentraciones de CO<sub>2</sub>.**



PARADA, Gustavo. Sistemas de recirculación para Acuicultura. En: Rev. Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola. Memorias I Seminario Internacional de Producción Acuícola. Pasto: Universidad de Nariño, 2004. p. 5

**4.1.6 pH y Dureza.** Según Timmons et al<sup>22</sup>, el valor pH expresa la intensidad de las características básicas o ácidas del agua. La escala del pH varía desde 0 a 14, con un pH de 7,0 que corresponde al punto neutro. Los valores de pH bajo 7,0 son ácidos y sobre 7,0 son básicos o alcalinos. Para Vinatea<sup>23</sup>, el pH es un parámetro

<sup>21</sup> Timmons et al. Op. Cit p.100.

\*COMUNICACIÓN PERSONAL, Fernando Rodriguez Bustos, Biólogo Marino M.Sc. en Acuicultura. Auburn University. Gerente general de Acuagranja Ltda. Bogotá, 19 de Mayo 2008.

<sup>22</sup> Timmons et al. Op. Cit p.104.

<sup>23</sup> VINATEA, L. Op. Cit p. 92.

muy especial en los ambientes acuáticos, pudiendo ser la causa de muchos fenómenos químicos y biológicos, pero puede también ser la consecuencia de otra serie de fenómenos.

Por otro lado el mismo autor afirma que la dureza es una característica química del agua que esta determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio. Existen dos tipos de dureza: la temporal (eliminada por ebullición) y la permanente (no se puede eliminar por ebullición)

## **4.2 CIRCULACIÓN.**

Según Parker y Suttle<sup>24</sup> la circulación del agua así como la aireación de los cuerpos de agua, es responsable del aumento en la productividad primaria, reduciendo la estratificación, y causando la mayor disponibilidad de nutrientes solubles, disminuyendo la acumulación de materia orgánica en el fondo y, por lo tanto, aumentando la producción en el cultivo de peces.

También mencionan que la circulación, mezcla la columna del agua, para asegurarse que el contenido en oxígeno sea uniforme a través del cultivo (esto es especialmente importante cuando los animales se encuentran hacinados en un solo lugar, desaprovechando todo el volumen de agua).

Continúan diciendo, que la circulación mueve el agua aireada mejorando los puntos muertos desde el área inmediata del aireador. Este flujo horizontal-circular se crea y controla un tipo de flujo circular para una eficiencia máxima del sistema. La única resistencia que debe superar el flujo de agua es friccionar, por las partículas en suspensión.

Los mismos autores agregan que la circulación mejora la aireación, redistribuyendo y aumentando la eficacia de la transferencia de oxígeno, la temperatura y la salinidad (destratificación) en el agua mejorando las condiciones de cultivo.

De acuerdo con Avnimelech, estanques sin circulación del agua y sin un mecanismo suplementario de aireación, muestran concentraciones más altas de nitrógeno, de amoníaco y de nitrato orgánico.

Además no permite que gases perjudiciales, como el bióxido de nitrógeno y de carbono se dispersen en la atmósfera. La mayoría de los sistemas ayudan a lograr esta circulación como los difusores de aire, bombas sumergibles, aireadores de paletas, inyectores, etc., pero no todos con la misma eficiencia<sup>25</sup>.

---

<sup>24</sup> PARKER, N. C. y SUTTLE, M. A., Desempeño de bombas de aire para la circulación de agua y aireación en Acuicultura. Las Vegas. Aquacultural Engineering. 1987. p. 97.

<sup>25</sup>AVNIMELECH, Op cit, p.160.

Según Boyd<sup>26</sup>, indicó que la circulación previene la estratificación termal, y que el oxígeno producido en el agua por el fitoplancton, se disperse a través del estanque, logrando que los peces y otros animales ocupen toda la columna de agua, evitando el hacinamiento y un mejor aprovechamiento del oxígeno.

Comenta el mismo autor que al mezclarse el agua, iguala concentraciones de sustancias químicas, y agita las aguas superficiales favoreciendo la difusión del bióxido de carbono y del amoníaco a la atmósfera.

### 4.3 AIREACIÓN.

Para Hopkins, las dos técnicas más usadas en acuicultura, para elevar la producción, así como para conservar condiciones ambientales en el cultivo, son el flujo continuo del agua y un aumento en los niveles del oxígeno disuelto en el ambiente acuático, por medio de sistemas de aireación artificial.

De igual forma menciona que este es el medio por el cual se pueden alcanzar producciones más altas en los cultivos superintensivos de piscicultura. Los aireadores se introducen en los cultivos para alcanzar varias metas:

- Superar limitaciones del oxígeno.
- Permitir densidades y producciones más altas de la media.
- Distribuir el oxígeno horizontalmente y verticalmente en el área del cultivo.
- Controlar la cobertura, la localización y el drenaje del lodo<sup>27</sup>.

De acuerdo con Tiensongrusmee<sup>28</sup>, un aireador es un artefacto capaz de incrementar las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, por medio de un aumento de interacción entre el aire y el agua.

Boyd y Ahmad afirman<sup>29</sup>: “Cuando las concentraciones de oxígeno están en un nivel bajo de saturación, los aireadores pueden adicionar oxígeno al agua.

---

<sup>26</sup>BOYD, Claude. New aeration tests may provide better basis for comparison. Aquaculture Magazine.1982. p. 28

<sup>27</sup>HOPKINS, Op cit, p.108.

<sup>28</sup> TIENSONGRUSMEE, B. Pumps and aerators. Canada: Infofish internacional, 1986. p.96.

<sup>29</sup>BOYD, C. E. y Ahmad T. Evaluation of aerators for channel catfish farming. Auburn University. Alabama. Bulletin. 1987. p.52.

Para Boyd, la aireación mecánica es necesaria, principalmente en las siguientes condiciones:

1. Durante la noche, especialmente cuando el régimen de alimentación es alto, debido a la fuerte tasa de respiración de plancton, bentos y organismos cultivados.
2. Cuando hay gran producción de algas, originando una menor producción de oxígeno o existe un alto riesgo de muerte repentina de toda la biomasa algal.
3. Durante la época de verano, cuando se presenta una alta radiación solar.

La cantidad de oxígeno de la aireación depende del tipo y el número de aireadores y la concentración en el agua”

También comentan que es importante que los aireadores estén diseñados, utilizados y desplegados para alcanzar todas las metas mencionadas. Los medios para alcanzar estas metas son:

- Tipo del aireador.
- Localización del aireador.
- Modo de la operación del aireador.
- Diseño apropiado del medio de cultivo.

**4.3.1 Tipos de aireación.** Boyd y Watten, sostienen que los sistemas de aireación de la acuicultura son similares a los usados en la aireación de las aguas residuales<sup>30</sup>.

Mencionan además, que todos los tipos básicos de aireadores mecánicos se han utilizado en acuicultura, tanto como los difusores de aire, bombas sumergibles y el aireador con paletas son los más comunes en acuicultura.

▪ **Difusores de Aire.** Este tipo de aireadores se utilizan cuando se tiene una presión baja. Utilizándose una variedad de difusores, incluyendo los de cerámica, cerámica porosa, papel poroso y las piedras del aire carbonado.

Este dispositivo tiene una eficacia extremadamente alta para la inyección del oxígeno en el agua transferida por medio de burbujas.

---

<sup>30</sup> BOYD, C. and WATTEN, John. Aeration systems in aquaculture. CRC Critical Reviews in Aquatic Sciences, 1989. p.425

Sin embargo Rogers<sup>31</sup>, asegura que la eficacia de este tipo de aireación depende del tamaño de la burbuja (cuando más fina es la burbuja mayor es la eficacia pero los difusores finos se bloquean más rápidamente) y de la manera en las cuales ellos están instalados, anclados flojamente o en puentes aéreos.

También menciona que los sistemas que producen burbujas grandes son los que requieren de una presión de aire más baja y no se obstruyen con facilidad, pero su eficiencia en la transferencia de oxígeno al agua, es aproximadamente un tercio de la que poseen los sistemas de burbujas medianas.

El mismo autor afirma que los difusores de burbujas medianas requieren solo una presión de aire levemente más alta, pero la mayor transferencia de oxígeno compensa con creces su costo.

Termina comentando que estos funcionan mejor en situaciones en que se necesitan pequeñas cantidades de aire. Los aireadores de burbujas también son más aptos en la remoción de gases del agua tales como amonio y dióxido de carbono.

• **Bombas Sumergibles.** El mismo autor comenta que el uso de bombas sumergibles cerca del fondo de estanque, dependiendo del tamaño de la bomba, proporciona algún tipo de circulación y mezcla del agua, al igual que los difusores de aire estas funcionan mejor en situaciones en que se necesitan pequeñas cantidades de oxígeno.

• **Aireadores de Paletas SA-A220.** Boyd<sup>32</sup> afirma que los aireadores de paletas son el método más extensamente usado en aireación y han demostrado ser eficientes y convenientes para el manejo de cultivos superintensivos.

El mismo autor afirma que el aireador de paletas es altamente eficiente, debido a que destratifica rápidamente un estanque con la circulación fuerte del agua e inyectando aire, rociando el agua en el aire, y así logrando que el aire friccioné con el agua creando áreas superficiales grandes de interfase de aire-agua que permiten el intercambio gaseoso eficiente (oxígeno adentro y gas dañoso hacia fuera).

Agrega que el efecto combinado de la circulación y de la aireación fuerte, permite la formación de la capa superficial oxidada importante del

---

<sup>31</sup> ROGERS, Gary. Aeration and Circulation for Effective Pond Management. Aquacultural Engineering. Vol. 8. No. 5. 1989. p.124.

<sup>32</sup> BOYD, Claude. Deep water installation of a diffused-air aeration system in a shallow pond. Journal of Applied Aquaculture. Vol. 5. No.1. 1995. p.23.



sedimento. Ninguno de los otros sistemas de aireación realiza estas funciones o no las hacen tan eficientemente en un estanque estándar de 1.000 m<sup>2</sup> y una profundidad máxima de 1,5 – 2 m.

Menciona además que el sistema de aireación de paletas está diseñado para funcionar hasta un máximo de una hora, tres veces por día (antes de la salida del sol, la última hora de la tarde y una hora en la noche), (Ver Figura 4).

**Figura 4. Aireador de Paletas SA-A220**



Comenta además, que la cantidad de aireación requerida depende de varios factores, niveles de entrada de caudal, la temperatura del agua y los requisitos propios de cada especie.

El Aireador de paletas SA-A220 contiene, según Sino-Aqua Corporation<sup>33</sup>:

- Motor: 2 HP Trifásico
- Dimensiones del equipo: 2 x 1,75 x 0,90 m.
- Número de Paletas: 8
- Número de Ruedas: 4
- Flotadores de 1,75 m: 3
- Marco en: Acero inoxidable.

<sup>33</sup> SINO – AQUA CORPORATION. Sistemas de Aireación. Taiwán. 2006. (Disponible en Internet, URL: [www.sino-aqua.com](http://www.sino-aqua.com)).

- Motor-reductor de: Fricción
- Eje en acero inoxidable de:  $\frac{3}{4}$  " x 2,5 m.

- **Splash AQ-S002.** Sino-Aqua Corporation<sup>34</sup> sostiene que, este nuevo sistema, activa la circulación del agua entre la capa inferior y la capa superior, mezclando el agua de estanques, lagunas, lagos, cultivos en jaulas, reservorios y aguas de desecho, estabilizando las poblaciones de algas e incrementando el apetito y crecimiento de los peces.

Asegura que minimiza representativamente las fluctuaciones de la temperatura, pH, y el oxígeno disuelto, es un equipo de aireación versátil que combina la eficiencia de una fuente aireadora con la fuerza de un circulador de agua.

Continúa diciendo que el splash introduce grandes volúmenes de aire mientras es expulsada el agua hacia arriba en forma de fuente, donde se realiza una transferencia de oxígeno en la interfase de agua.-aire. Estas gotas al caer, incrementan los niveles de oxígeno y promueven la eliminación de gases tóxicos del agua, (Ver Figura 5)

**Figura 5. Aireador Splash AQ-S002**



El splash AQ-S002, contiene:

- Motor patentado : 2 HP Trifásico

<sup>34</sup> SINO – AQUA CORPORATION. Op. cit.

- Propulsor en: Nylon
- Marco en acero inoxidable:  $\frac{3}{4}$ " x 2,43 m
- Flotadores en PVC. 0,175 m x 1,2 m
- Dimensiones: 1,13 m x 1,25 m x 0,67 m.
- Dimensión neta : 0,94 m<sup>3</sup>
- Altura de la Fuente: 1,5 m
- Área de Cobertura de la fuente: 8 m de diámetro
- Drenaje máximo de agua: 3,6 m<sup>3</sup>/min.

**4.3.2 Determinación de la eficiencia de aireadores.** De acuerdo con Boyd<sup>35</sup>, la habilidad que tiene un aireador para transferir oxígeno al agua puede ser expresada mediante la tasa de transferencia de oxígeno estándar "SOTR" (Kg O<sub>2</sub>/h) y por la eficiencia estándar de aireación "SAE" (Kg O<sub>2</sub>/kw/h). La SOTR es la cantidad de oxígeno que un aireador puede transferir en una hora, para un cuerpo de agua clara a 20°C o la que contienen 0 mg/l de oxígeno disuelto. El SAE es simplemente la SOTR dividido por una unidad de energía.

Según Boyd y Ahmad<sup>36</sup>, la eficiencia de un aireador generalmente es determinada por medio de su uso en estanques de fondo duro y paredes bien definidas, usando para eso agua limpia. Con las debidas correcciones, la eficiencia de dos aireadores puede ser determinada usando agua de estanques o directamente en los propios estanques de cultivo. Lo ideal sería determinar la eficiencia de los aparatos usando las condiciones del tanque de cultivo, pero estas condiciones son difíciles de ser alcanzadas y sujetas a errores.

Vinatea<sup>37</sup> asegura que la medición de eficiencia de los aireadores directamente en los tanques de cultivo es valiosa por dos razones. Primero, porque nos facilita estimar la capacidad de aireación de un determinado artefacto sobre condiciones de campo. Segundo, porque puede ser usada para evaluar la eficiencia de energía relativa entre diferentes aparatos.

Para la determinación de SOTR en agua limpia es necesario, primero eliminar el oxígeno disuelto, utilizando para eso sulfito de sodio o cloruro de cobalto como catalizador. Luego el aireador es colocado en el tanque e inmediatamente se pone a funcionar.

---

<sup>35</sup> BOYD, Claude. Deep water installation of a diffused-air aeration system in a shallow pond. Op Cit. p.24.

<sup>36</sup> BOYD, C. E. y Ahmad T. Op. Cit. p.17.

<sup>37</sup> VINATEA, L. Op. Cit p.102.

#### **4.4 TRANSFERENCIA DE OXÍGENO POR AIREACIÓN.**

De acuerdo con lo expuesto con Timmons<sup>38</sup>, los factores que impactan directamente la tasa de transferencia de gases, son primero el área de interface gas-liquido y segundo la diferencia entre la concentración (presión parcial) en la saturación y la concentración existente de gas en el agua.

Para Boyd<sup>39</sup>, en aguas naturales las concentraciones de oxígeno disuelto están cambiando constantemente debido a procesos biológicos, físicos y químicos. La transferencia de oxígeno del aire al agua se produce cuando el agua está insaturada con oxígeno disuelto y el oxígeno se difunde del agua al aire cuando el agua está sobresaturada con oxígeno.

Continúa diciendo, que el motor que causa esta transferencia de oxígeno entre el aire y el agua es la diferencia en la presión de oxígeno.

Wheaton<sup>40</sup> afirma que para la transferencia de oxígeno en el agua puede ser visto como tres procesos: primero en la transferencia de oxígeno al gas en la interface gas-liquido, segundo, transferencia a través de la interface gas-liquido y como tercero la transferencia de oxígeno fuera de la interface, dentro del líquido.

El mismo autor asegura, que existen cuatro tipos básicos de aireadores que permiten la transferencia de oxígeno al agua: (1) Gravedad, (2) Superficie, (3) Difusores y (4) Turbinas. También existen varios aireadores que son la combinación de dos o más de estos tipos en una sola unidad.

Estos aireadores deben utilizar una fuente de energía para aumentar el área de la superficie del líquido disponible para la transferencia de oxígeno y/o para mezclar el líquido, con el fin de garantizar que el agua con concentración baja de oxígeno se ponga en contacto con el aire o con el gas oxígeno. Esta zona de mezcla superficial aumenta y también aumenta el gradiente de concentración eficaz, realizándose así la transferencia por aireación.

#### **4.5 JAULÓN DE ESTRUCTURA MODULAR**

Con el fin de incrementar la producción en cultivos superintensivos en las jaulas flotantes en el embalse de Betania se incorporó el denominado Jaulón de estructura modular, proveniente de los cultivos de salmón en Chile. Por su alto

---

<sup>38</sup> Timmons et al. Op. Cit p.269.

<sup>39</sup> BOYD, Claude E. Calidad del agua en estanques para la acuicultura. Op cit. p.23.

<sup>40</sup> WHEATON, Frederick W. Aquacultural Engineering. Primer Edición. Toronto: 1972. p.643.

costo de instalación y exigentes condiciones medioambientales está destinado para la producción industrial de la tilapia roja.

Esta jaula de gran volumen (604 m<sup>3</sup>) está constituida por la unión en forma circular de 12 unidades de estructura metálica de 6 m x 0.8 m x 0.3 m cada una, soportado cada uno por bloques de icopor de alta densidad, formando de igual forma un pasadizo para las labores de pesca, alimentación y control.

Esta jaula está constituida por dos mallas, una externa para evitar la fuga de los peces con un ojo de malla de 1" y una profundidad de 3 m, la cual se cuelga del exterior de la estructura modular y otra interior con un ojo de malla de 1.5 " y con una profundidad de 2 m, soportada desde el interior de la misma estructura modular, separada por una distancia entre 0.8 y 1 m de la malla exterior.

La unión entre las estructuras modulares se efectúa con varillas metálicas con bujes que permiten cierta elasticidad de la estructura completa y de esta manera resisten la acción de la corriente de agua y de los fuertes vientos.

Por otra parte, una extensión de la malla interior y de las varillas hacia arriba del pasadizo permite la conformación de una baranda o pasamano, que otorga seguridad para las labores.

El diámetro de la estructura modular, arreglada en forma circular es de 20 m, y en su interior se ubican los sistemas electromecánicos de aireación, como elementos de seguridad para mantener la concentración del oxígeno disuelto en el agua, (Ver Figura 6).

**Figura 6. Jaulón de estructura modular.**

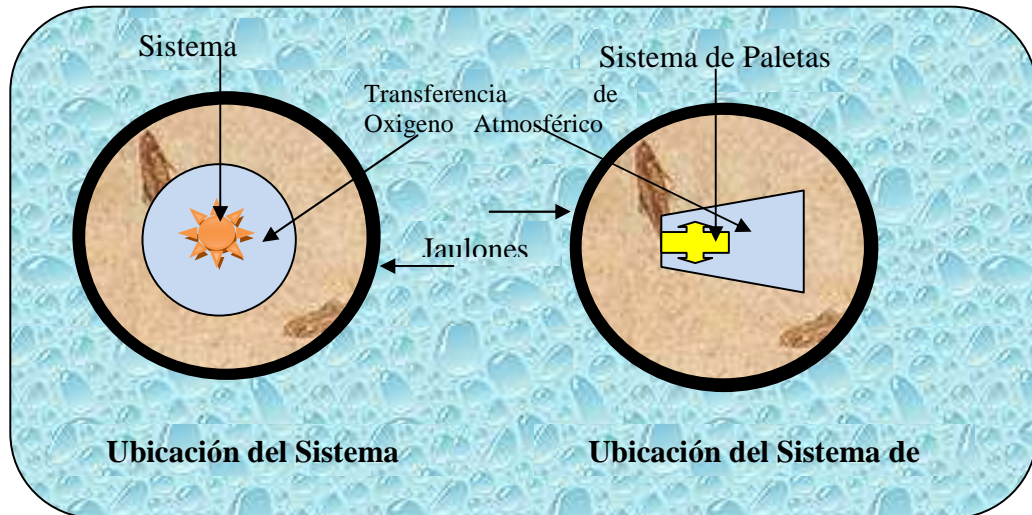


#### **4.6 UBICACIÓN DE AIREADORES**

Específicamente, no hay literatura de la ubicación exacta o recomendada de los sistemas de aireación en sistemas de producción como los jaulones, ubicados en el embalse de Betania.

Para esta investigación, se optó por ubicarlos en el centro de cada jaulón, de los tratamientos 2 y 3, sistema de paletas y splash respectivamente, debido a que si el splash se ubica, en una orilla o cerca a un segmento del jaulón, aproximadamente la mitad del agua circulada, quedaría por fuera del jaulón, evitándose así la transferencia de oxígeno al lugar donde por lo general se alimenta a los animales, evitando la pérdida de comida por la corriente de agua, (Ver Figura 7.)

**Figura 7. Ubicación de los sistemas de aireación dentro de los jaulones.**



#### **4.7 PROTOCOLO PARA LA EVALUACIÓN DEL SOTR Y SAE.**

Según Colt y Orwicz<sup>41</sup>, existen dos tipos básicos de pruebas para evaluar el rendimiento de un aireador, el primero es el estado estacionario y el segundo en estado no estacionario. La prueba de estado estacionario se lleva a cabo el montaje de un aireador en una corriente de agua y la medición de caudal y la concentración, se debe hacer antes y después de la transferencia de oxígeno, esta diferencia en la cantidad de oxígeno entre la entrada y la salida representa la cantidad de oxígeno transferido al agua por el aireador.

Continúan diciendo que para esta técnica es difícil el ensayo, porque se requiere de un gran flujo continuo de agua, en los estanques para acuicultura. Mientras que el segundo método, el método de estado no estacionario de aireadores es el más apropiado para evaluar el desempeño de los aireadores en la acuicultura.

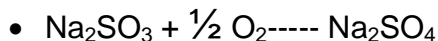
Boyd<sup>42</sup>, afirma que el mejor sistema, es el sistema no estacionario, donde en primera estancia se mide el volumen del tanque, volumen del agua, parámetros

<sup>41</sup> COLT, J., ORWICZ, C. Aeration in intensive culture. Edición. Tomasso. Auburn. 1991. p.18.

<sup>42</sup> BOYD, Op. Cit. p.18.



físico – químicos tales como el oxígeno, temperatura y la salinidad. Se desoxigena el agua limpia con sulfito de sodio (8 a 10 mg/l) y cloruro de cobalto (0,05 a 0,1 mg O<sub>2</sub>/l), usando el cobalto como catalizador entre el oxígeno y el sulfito de sodio, según la siguiente fórmula:



Continúa diciendo, que el aireador se utiliza para la mezcla, mientras se miden las concentraciones de oxígeno y saturación con un oxímetro y temperatura, mínimo se deben realizar 10 mediciones.

Menciona que los logaritmos de los déficit de la concentración de oxígeno se representan gráficamente frente al tiempo de aireación, la línea de mejor ajuste se extrae mediante inspección visual o por la ayuda de análisis de regresión. El coeficiente de transferencia de oxígeno se ajusta a 20°C con la siguiente ecuación:

- $$Kla_t = \frac{1,1}{(t_{70} - t_{10}) / 60}$$

Donde:

- **Kla<sub>t</sub>** = Coeficiente de transferencia de O<sub>2</sub>.
- **t<sub>70</sub>** = tiempo que el O<sub>2</sub> alcanza el 70% de saturación.
- **t<sub>10</sub>** = tiempo que el O<sub>2</sub> alcanza el 10% de saturación.

Según Boyd y Ahmad<sup>43</sup>, si la prueba no se ejecuta en agua limpia el valor debe ser ajustado para el agua en que la prueba se llevo a cabo, según la fórmula:

- $$Kla_{20} = Kla_t \times 1.024^{20-T}$$

Donde:

- **Kla<sub>20</sub>** = Coeficiente transferencia de O<sub>2</sub> en T° de la prueba.
- **T** = Temperatura de la prueba.

Boyd<sup>44</sup>, afirma que la definición del SOTR, es la cantidad de oxígeno que un aireador transfiere al agua por unidad de tiempo (hora) en condiciones normales tales como 0 O<sub>2</sub>/L, temperatura de 20°C y agua limpia.

- $$\text{SOTR} = (Kla_{20}) \times (Cs) \times (V) \times (10^{-3})$$

<sup>43</sup> BOYD, Claude. E. y AHMAD T. Op. Cit. p.34.

<sup>44</sup> BOYD, Claude. Pond water aeration systems. Auburn University. Auburn. Bulletin. 1998. p.20.



Donde:

**SOTR** = Rata de Transferencia de Oxígeno Estándar (kgO<sub>2</sub>/h).

**Cs** = Concentración del oxígeno saturado a 20°C (g/m<sup>3</sup>).

**V** = Volumen del tanque donde fue realizada la prueba (m<sup>3</sup>).

**10-3** = Factor para convertir g en Kg (Kg/g)

Menciona también, que el valor del SOTR puede ser dividido por la potencia aplicada para obtener la eficiencia de aireación (SAE), el cual se expresa en términos de energía eléctrica, y en kilogramos de oxígeno por kilowatt/hora, (Kg O<sub>2</sub>/Kw/hora).

$$\bullet \text{ SAE} = \frac{\text{SOTR}}{\text{Potencia (cv)}}$$

Donde:

**SAE** = Eficiencia Estándar de Aireación (kgO<sub>2</sub>/kw/h).

**Cv** = Caballos de vapor o HP

#### 4.8 GENERALIDADES DE LA ESPECIE.

Según Carrillo, Rodríguez y Victoria<sup>45</sup>, la tilapia roja (*Oreochromis sp.*), es un híbrido proveniente de líneas mejoradas partiendo de las cuatro especies más importantes del género *Oreochromis*. Estas fueron introducidas a Indonesia, Malasia, Inglaterra, Israel, Estados Unidos, México, Venezuela y Ecuador.

A Colombia llegó como producto de importación en 1.982, el desarrollo de este híbrido permitió obtener muchas ventajas sobre otras especies como un alto porcentaje de masa muscular, filete grande, ausencia de espinas intramusculares, rápido crecimiento, adaptabilidad al ambiente, resistencia a enfermedades, excelente textura de carne y coloración fenotípica de muy buena aceptación en el mercado.

**4.8.1 Hábitat.** Los mismos autores manifiestan que son especies aptas para el cultivo en zonas tropicales y subtropicales. Debido a su naturaleza híbrida, se adaptan con gran facilidad a ambientes lenticos, estanques, lagunas, reservorios y en general, a medios confinados.

**4.8.2 Parámetros de cultivo.** Para Carrillo, Rodríguez y Victoria<sup>46</sup> los rangos entre los cuales deben estar los parámetros físico-químicos para el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*), se especifican en la Tabla 2.

---

<sup>45</sup> CARRILLO, Mauricio; RODRIGUEZ, Horacio; VICTORIA, Piedad. Fundamentos de acuicultura continental. Segunda edición. Bogotá: INPA, 2001. p.206.

<sup>46</sup> *Ibíd.*

**Tabla 2. Parámetros para el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp.*)**

Parámetro	Rango
Oxígeno (mg/l)	3,0-6,5
Temperatura (°C)	22-30
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	50-350
pH	6,5-9,0
Amonio (mg/l)	0,01-0,1
Nitritos (mg/l)	< 0,1
Dióxido de carbono (mg/l)	< 20

**4.8.3 Consumo de oxígeno.** De acuerdo con Boyd<sup>47</sup>, la solubilidad del oxígeno disminuye a medida que la temperatura del agua aumenta y que, además, es el principal factor que afecta el metabolismo respiratorio y la excreción de amonio en organismos acuáticos.

Por otro lado, en estudios realizados por Knut y Nielsen<sup>48</sup>, se demostró que el consumo de oxígeno por unidad de peso corporal de una determinada especie, disminuye a medida que aumenta su peso corporal.

Según Valbuena y Cruz<sup>49</sup>, aun existen grandes vacíos de información sobre el consumo de oxígeno en esta especie y de la magnitud de los efectos que sobre esta variable ejercen factores tales como el peso corporal y la temperatura del agua.

Resultados obtenidos por estos autores, afirman que en Tilapia roja (*Oreochromis sp.*), el consumo de oxígeno, a temperatura promedio de 24°C, y con un peso corporal entre 250 gr y 350 gr es de 0,19 mg/Kg/h.

<sup>47</sup> BOYD, Claude E. Calidad del agua en estanques para la acuicultura. Op cit. p.46.

<sup>48</sup> KNUT S, NIELSEN Y. Fisiología animal: adaptación y medio ambiente. Ediciones Omega S.A.: Barcelona. España, 1976. p.158

<sup>49</sup> VALBUENA R., CRUZ P. Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de Tilapia Roja (*Oreochromis sp.*).Orinoquia. Vol. 10. No. 1. 2006. p.60.

## 4.9 MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD ACUÁTICA

Según Vinatea<sup>50</sup>, para poder determinar la productividad acuática es posible hacerlo por medio de la medición de la misma productividad primaria, el conteo de fitoplancton y fitobentos; y también de la determinación de la densidad de zooplancton y zoobentos.

**4.9.1 Productividad Primaria.** Existen 3 métodos para determinar la productividad primaria:

- **Método de la Colecta:** sea la cantidad de microalgas y de macrofitas acuáticas que un sistema de cultivo es capaz de producir de forma natural. Una de ellas es por medio de la colecta, se recoge la biomasa de microalgas o de macrofitas de un metro cuadrado aproximadamente se seca a 100 °C y se coloca en una bomba calorimétrica y se registra el número de calorías.
- **Radioactivo.** Consiste en la absorción del carbono 14 (C<sub>14</sub>) bajo la forma de CO<sub>2</sub>, método que necesita tecnología, y no se consigue con facilidad para ensayos de campo.
- **Botellas Claras y Oscuras.** Este método es utilizado debido principalmente al oxígeno producido, el cual es un método fácil y de campo, donde se instala un par de botellas plásticas en la superficie y en el fondo del estanque. Una de estas botellas de cada par estará envuelta en plástico negro para que la luz no penetre.

En un determinado periodo se dejara reposando, para determinar:

- **Fotosíntesis líquida:** Sería el oxígeno existente en la botella clara después de un determinado tiempo menos el oxígeno inicial que fue registrado en el momento de instalar las botellas.
- **Fotosíntesis bruta:** Sería el oxígeno de la botella clara menos el oxígeno de la botella oscura después de un determinado tiempo de las dos botellas.
- **Respiración:** Sería el oxígeno inicial menos el oxígeno de la botella oscura después de un determinado un tiempo.

---

<sup>50</sup> VINATEA, L. Op. Cit p.25.

El autor continúa diciendo, que esto nos da una idea del estado trófico de los recintos de agua donde se realizan este tipo de método para establecer la productividad acuática.

Este método se utilizó en esta investigación para determinar el número de aireadores para cada sistema.

## **5. TÉCNICAS DE MUESTREO.**

Según Espejo: Cuando las condiciones de los jaulones son variables en sus parámetros físico - químicos (condiciones de oxígeno, pH, amonio), y se encuentran sujetos a gran fluctuación entre condiciones buenas y malas, se hace necesario hacer muestreos cada 8 días, ya que el efecto del crecimiento compensatorio es más notorio y es bien importante para hacer los ajustes de alimentación

Además, menciona el mismo autor: Estos muestreos se realizaran con el 1% de los animales sembrados y al azar, a partir de un peso determinado al inicio de la etapa de ceba, evaluado en los tres sistemas y se utilizara los datos proporcionados para calcular el incremento de biomasa y la ganancia de peso en cada uno de los cultivos al finalizar la investigación.<sup>51</sup>

---

<sup>51</sup> ESPEJO, Carlos. Op. Cit. p.16.

## 6. DISEÑO METODOLÓGICO

### 6.1 LOCALIZACIÓN.

La presente investigación se desarrolló en la represa de Betania, (Ver Figura 8), en la estación piscícola BRISAS, ubicada en la vereda Llano Sur, en el municipio de Yaguará, distando a 49 kilómetros, del perímetro urbano, entre el municipio de Yaguará y la ciudad de Neiva, departamento del Huila, medida tomada sobre la vía troncal del sur, que une la mayoría de los municipios regionales.

Las coordenadas geográficas, según el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi)<sup>52</sup>, el territorio del Municipio de Yaguará son 2° 39' 50" Norte y 75° 31' 0" Sur aproximadamente.

La altura promedio de la ciudad es de 650 m.s.n.m, y debido a la topografía del terreno, cuenta con varios climas, que van desde el frío hasta el cálido. La temperatura media anual en el casco urbano es de 25°C y su precipitación media anual es de 1254 milímetros.

**Figura 8. Represa de Betania.**



Fuente: Google Earth.

---

<sup>52</sup> COLOMBIA. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI. Municipio de Campoalegre. 2006. (Disponible en Internet, URL: [www.igac.gov.co/información general/huila/htm](http://www.igac.gov.co/información%20general/huila/htm)).

El punto más bajo del Municipio se encuentra en la confluencia del Río Neiva con el Río Magdalena y su altura es de 456 m.s.n.m. La cota más alta corresponde al Cerro Cresta de Gallo ubicado en el ecosistema estratégico de la Siberia, a 3250 m.s.n.m, que comparte con Rivera y Algeciras.

En el municipio de San Antonio (departamento de Cundinamarca), ubicado a una altura 1503 msnm y de temperatura ambiente de 20°C.<sup>53</sup>, se desarrollo las pruebas de los dos equipos electromecánicos, para determinar SOTR y SAE.

## 6.2 INFRAESTRUCTURA.

Se utilizaron tres jaulones de 12 secciones, aproximadamente de 400 m<sup>2</sup>, con una profundidad de tres metros y malla con ojo de una pulgada, cada uno sembrado aproximadamente con 80.000 animales de 230 gramos en promedio, en el momento de la investigación, (Ver Tabla 3)

**Tabla 3 Medidas de un Jaulón utilizados en la investigación**

<b>MEDIDAS DEL JAULÓN</b>	<b>UNIDADES</b>
Numero de secciones	12
Sección	6 m
Perímetro	72 m
Apotema	11,19 m
Área	403m <sup>2</sup>
Profundidad	2,5 m
Volumen	604 m <sup>3</sup>

En estos jaulones se instalaron los sistemas de aireación, en la etapa de engorde de cada jaulón, estos procesos tomaron una mañana completa, después de realizado el método de botellas claras y oscuras. Estos fueron anclados al jaulón y conectados a la planta eléctrica ubicada con anterioridad en el proyecto, y funcionaron durante 3 veces al día, 7:30 a.m, 1:30 p.m y 6:00 p.m, durante 1 hora, por costos en combustible y recomendaciones de expertos en aireación, mencionados anteriormente.

Para la realización de la parte inicial del proyecto se trabajó en un tanque rectangular de concreto de 4,0 m x 9.80 m x 1.27 m, con una capacidad útil de 50 m<sup>3</sup>, este se encuentra ubicado en el Municipio de San Antonio, aquí se determinó la rata de transferencia de oxígeno estándar (Kg O<sub>2</sub>/h) (SOTR) y la eficiencia estándar de aireación (Kg O<sub>2</sub>/kw/h) (SAE).

<sup>53</sup> Ibíd.

**Figura 9. Tanque de prueba para determinación de SAE y SOTR**



**Figura 10. Jaulones experimentales para la evaluación de los equipos de aireación.**



### **6.3 MATERIAL BIOLÓGICO.**

Se utilizaron un promedio de 80.000 animales por jaulón, con un peso promedio de 220 gr aproximadamente, semilla adquirida en la región, que presenta disparidad por la diferencia de lotes a la hora de siembra, esto debido a las altas cantidades requeridas por cada jaulón y cada productor del embalse.

### **6.4 PERIODO DE ESTUDIO.**

Esta investigación tuvo una fase inicial de 8 días, en mayo del 2008, en los cuales se evaluaron los dos sistemas de aireación en el tanque. Se busco el tanque más apropiado para la realización de las pruebas evitando de esta manera el gasto de químicos, tiempo y desperdicio de energía eléctrica, además para la realización de los cálculos correspondientes a 50 m<sup>3</sup>, como sostiene la bibliografía.

La evaluación de los tratamientos en los jaulones tuvo una duración de 60 días, que tiene su inicio en mayo del 2009 y finaliza la primera semana de julio 2009 para un total de dos meses y una semana de investigación.

### **6.5 EQUIPOS.**

Para la realización del trabajo de campo se emplearon los siguientes equipos y sus respectivas funciones se observan en la tabla N° 4:

- Aireador 4 paletas Modelo SA-A200 2 HP 3 PH
- Aireador splash Modelo AQ-S002 2 HP 3 PH
- Oxímetro YSI Y5512
- Kit de Análisis de Agua Modelo HACH FF1A
- Termómetro Bolsillo Cubierta Plástica TH26
- Cámara fotográfica digital CANON POWERSHOT A430
- Balanza electrónica de mano OHAUS
- Báscula
- Bote
- Motor 15 hp

### **6.6 UTENSILIOS**

- Nasa de 25 x 18 cm ojo de 1 pulgada
- 2 Baldes de 5 galones
- Soga
- Guantes
- Tapabocas
- Tejas de Aluminio
- 12 Botellas plásticas



## 6.7 INSUMOS Y REACTIVOS.

- 3 kilos de sulfito de sodio ( $\text{Na}_2 \text{SO}_3$ )
- 50 gramos de cloruro de cobalto ( $\text{CoCl}_2$ )

**Tabla 4 Materiales y equipos con sus funciones y/o usos.**

MATERIALES Y EQUIPOS	FUNCION Y/O USO
– Aireador 4 paletas Modelo SA-A200 2 HP 3 PH	Transfiere Oxigeno Atmosférico al agua
– Aireador splash Modelo AQ-S002 2 HP 3 PH	Transfiere Oxigeno Atmosférico al agua
– Oxímetro YSI Y5512	Mide los niveles de Oxigeno en el agua
– Kit de Análisis de Agua Modelo HACH FF1A	Mide 9 parámetros de la calidad de agua
– Termómetro Bolsillo Cubierta Plástica TH26	Instrumento de medición de la temperatura
– Nasa de 25 x 18 cm	Arte de pesca para capturar especies acuáticas
– Baldes de 5 Galones	Cubo para transportar cualquier sustancia
– Cámara fotográfica digital CANON POWERSHOT A430	Captura y almacena fotografías
– Balanza electrónica de mano OHAUS	Permite medir masas
– 3 kilos de Sulfito de Sodio ( $\text{Na}_2 \text{SO}_3$ )	Químico utilizado para desoxigenar el agua
– 50 gramos de cloruro de cobalto ( $\text{CoCl}_2$ )	Químico utilizado como catalizador del Sulfito de Sodio
– Soga	Cuerda
– Guantes	Prenda, para proteger las manos
– Tapabocas	Prenda, para proteger la boca y nariz
– Tejas de Aluminio	Cubiertas para techos
– Báscula	Permite medir masas de mayor peso
– Bote	Medio de transporte acuático
– Motor 15 hp	Máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica
– 12 Botellas plásticas	Recipiente con el cuello estrecho que se utiliza para conservar

## 6.8 PLAN DE MANEJO.

**6.8.1 Adecuación del tanque.** El tanque de concreto, ubicado después de varios meses, en el municipio de San Antonio (Cundinamarca) y previamente a su utilización, se descubrió de una protección en madera, se vació, y se dejó secar por 2 días para su desinfección, (Ver Figura 11,12 y 13). Posteriormente se realizó las medidas exactas para lograr el volumen exacto para las pruebas, (Ver Figura N°14).

**Figura 11. Adecuación del tanque.**



**Figura 12. Destape del tanque**



**Figura 13. Vaciado del tanque.**



**Figura 14. Medición del tanque.**



**6.8.2 Protocolo para obtener el SOTR y SAE, equipo de paletas.** Según Vinatea<sup>54</sup>, el protocolo de la rata de transferencia de oxígeno estándar (SOTR), debe contener lugar y fecha de la prueba, marca del aireador, modelo, año de fabricación, marca del motor, número de aspas, disposición del eje de rotación, diámetro del motor y profundidad de inmersión de las paletas.

Continua diciendo, que es necesario el volumen de agua del tanque, como del agua, donde se mide la prueba, temperatura, oxígeno y salinidad, como parámetros esenciales, los cuales varían los niveles de oxígeno y los porcentajes de saturación a diferentes tiempos para calcular la rata de transferencia de oxígeno estándar (SOTR) del equipo, (Ver Anexo A.)

Este protocolo se llevo a cabo para las pruebas del equipo de aireación de paletas como para el sistema de aireación splash.

**6.8.2.1 Medición de parámetros físico – químicos.** En las horas de la mañana (10:00 a.m.) y después de 4 horas de llenado el tanque, se aseguro que no existiera cualquier tipo de material orgánico (hojas, ramas, animales, etc.) para poder desarrollar las pruebas con el sistema de paletas, y se procedió a la medición de los parámetros físico – químicos, como oxígeno, temperatura y salinidad, (Ver Figura 15) Estos datos están registrados en el Anexo A.

**Figura 15. Medición de parámetros del agua del tanque.**



---

<sup>54</sup> VINATEA, Luis. Aireación En: Seminario internacional de Calidad de Agua y Aireación en Acuicultura. (2006: Neiva). Memorias [CD-ROM]. 2006.



**6.8.2.2 Tratamiento del agua para la desoxigenación.** Se eliminó totalmente el oxígeno presente en el agua del tanque con 3 Kg/l de sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) por cada mg/l de  $\text{O}_2$  disuelto y 50 g/L de Cloruro de Cobalto ( $\text{CoCl}_2$ ), por litro del volumen del tanque, (Ver Anexo A)

Previamente se pesaron en la balanza electrónica las cantidades necesarias en base al volumen de agua y el oxígeno por litro de agua, presente en el agua, (Ver Figura 16 y 17), además se tomaron las medidas de seguridad con estos químicos, como el uso de guantes, gafas, tapabocas y botas, los cuales son altamente tóxicos, (Ver Figura 18).

**Figura 16 Pesaje Cloruro de Cobalto.**



**Figura 17. Pesaje de Sulfito de Sodio**



**Figura 18. Medidas de seguridad para manipular químicos**



Estos compuestos fueron previamente disueltos por separado, cada uno en un balde con 10 litros de agua para, después, verterlos en diferentes puntos del tanque y lograr una mezcla homogénea en el volumen de agua ( $50 \text{ m}^3$ ) del tanque, (Ver Figuras 19 y 20)

Antes de aplicar las soluciones al agua, se instaló el sistema de aireación de paletas en el tanque, para lograr una buena distribución de los reactivos por medio de la circulación en el agua, (Ver Figuras 21 y 22)

**Figura 19. Dilución de químicos.**



**Figura 20. Mezcla del Sulfito de Sodio y Cloruro de Cobalto.**



**Figura 21. Instalación del equipo de paletas.**



**Figura 22. Mezcla de químicos.**



**6.8.2.3 Medición de oxígeno.** Inmediatamente inicia el descenso de los niveles de oxígeno en el agua, en este caso ( $0,05 \text{ mg O}_2 /\text{L}$ ), (Ver Figura 23). Se inicia a tomar los datos cada minuto por medio del oxímetro, al igual que el porcentaje (%) de saturación para determinar el 10% y 70% de saturación en función del tiempo, para calcular el SOTR del equipo, iniciando con el coeficiente de transferencia de oxígeno del equipo en una hora ( $Kla_t$ ), (Ver Anexo A)



**Figura 23. Medida de oxígeno mínima.**



Una vez realizado la prueba, se realizo un chequeo de la zona para el vaciado del agua tratada, para ejecutar la prueba con el sistema splash en agua limpia. Se debe tener en cuenta que el agua evacuada es toxica y reprime el oxigeno, afectando especies hidrobiológicas en, quebradas, ríos, lagunas, etc. En esta investigación se hizo un reservorio para depositar el agua contaminada.

**6.8.3 Protocolo para obtener el SOTR y SAE, equipo splash.** Al día siguiente y en horas de la mañana (8:00 a.m.) y después de llenado el tanque con agua limpia, se procedió a desarrollar el mismo protocolo, con la toma de parámetros físico – químicos, como oxigeno, temperatura y salinidad, iniciales en el tanque, para el sistema splash. En esta prueba fue necesario realizar un recubrimiento del perímetro del tanque, por la elevación del agua, ocasionada por el equipo, (Ver Figura 24) Los datos obtenidos están registrados en el Anexo B.

**Figura 24. Recubrimiento del tanque.**



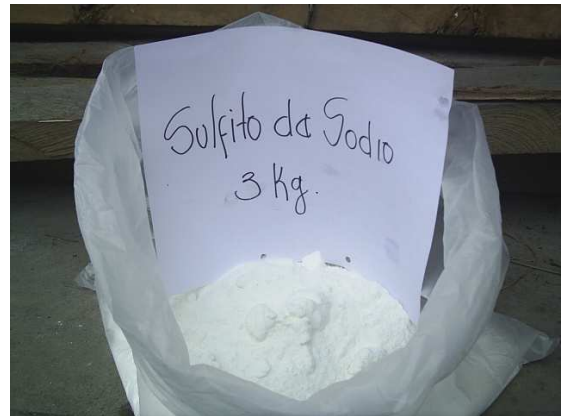


**6.8.3.1 Tratamiento del agua para la desoxigenación.** Nuevamente se eliminó totalmente el oxígeno presente en el agua del tanque con 3 Kg/l de sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) por cada mg/l de  $\text{O}_2$  disuelto y 50 g/L de Cloruro de Cobalto ( $\text{CoCl}_2$ ), por litro del volumen del tanque, (Ver Anexo B). También se utilizó los elementos de seguridad en cada pesaje de los químicos, (Ver Figura 25 y 26).

**Figura 25. Pesaje Cloruro de Cobalto.**



**Figura 26. Pesaje Sulfito de Sodio**



Fueron previamente disueltos por separado, cada uno en un balde con 10 litros de agua, y aplicados en el agua, donde previamente se instaló el sistema de aireación splash en el tanque, para lograr una buena distribución de los reactivos por medio de la circulación en el agua, (Ver Figuras 27, 28 y 29).

**Figura 27. Instalación equipo Splash**



**Figura 28. Aplicación de químicos.**



**Figura 29. Mezcla de químicos con el equipo Splash.**



**6.8.3.2 Medición de oxígeno.** Inmediatamente inicia el descenso de los niveles de oxígeno en el agua, en este caso (0,06 mg O<sub>2</sub> /L), (Ver Figura 30). Se inicia a tomar los datos cada minuto por medio del Oxímetro, al igual que el % de saturación para determinar el 10% y 70% de saturación en función del tiempo, para calcular el SOTR del equipo, iniciando con el coeficiente de transferencia de oxígeno del equipo en una hora (Kla<sub>t</sub>), (Ver Anexo B)

**Figura 30. Medida de oxígeno mínima.**



**6.8.4 Determinación del coeficiente Kla<sub>t</sub>, el SOTR y el SAE.** Se calculó el valor del déficit de oxígeno cuando éste se encuentra con 10% y 70% de la saturación de cada prueba, teniendo en cuenta el tiempo en el que se midió, (Ver Anexos A y B). Con los datos obtenidos se desarrolló las fórmulas correspondientes para el cálculo de Coeficiente de Transferencia de Oxígeno (Kla<sub>t</sub>/h), el SOTR (Kg O<sub>2</sub>/h) y SAE (Kg O<sub>2</sub>/Kw/h) de cada equipo, (Ver Anexo C y D).

**6.8.5 Numero de aireadores para cada sistema.** Para determinar el número de aireadores en esta investigación y para cada tratamiento, y ubicados ya en el embalse de Betania, fue necesario conocer la demanda total de oxígeno (TOD) (Kg O<sub>2</sub>/h), y la tasa de transferencia de oxígeno en función del SOTR (Kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h), ya desarrollado anteriormente.

**6.8.5.1 Demanda biológica de oxígeno en cada tratamiento (TOD).** Se determinó las necesidades verdaderas de la aireación en cada sistema, y para eso, fue necesario antes, saber cuánto respira la productividad primaria de los puntos del embalse de Betania donde se ubicarían los sistemas, por medio de la metodología de las botellas claras y oscuras, (Ver Figura 31)

Mediante este método fue posible determinar de forma rápida y simple la demanda total del oxígeno (TOD) de este cultivo, conociendo el impuesto respiratorio del agua, el fondo (2m) y el impuesto de la respiración de los animales, en este caso Tilapia Roja con un peso promedio de 220 gr. (0,19 mg O<sub>2</sub>/Kg/ h).

Cabe anotar, que las mediciones se realizaron al inicio de la investigación en los sistemas con aireación en la represa de Betania, con presencia de animales en cada tratamiento.

Además, se debe tener en cuenta que se asume el volumen de un jaulón, como permanente, y no se tiene en cuenta el recambio que tiene, por lo cual no se realizó mediciones de oxígeno en las corrientes que pasaron antes, durante y después de cada jaulón, lo cual no afectaría los resultados obtenidos en la respiración de la productividad primaria, del agua del embalse, contenidas en las botellas.

**Figura 31. Botellas claras y oscuras.**



Las botellas claras y oscuras, estuvieron cerradas para la prevención de mezclarse con sustancias orgánicas e inorgánicas que puedan afectar el resultado.

Para determinar el impuesto de respiración en cada una de las cuatro botellas, se fijaron 2 en el borde de los jaulones y 2 a 2 m de profundidad, las dos últimas a esta profundidad con el fin de evaluar la productividad del agua casi en el punto de compensación de la luz, la cual presenta casi el 1% de la luz que entra al agua en esta zona, por la turbidez del agua. Las botellas se llenaron con agua del cultivo, (Ver Figura 32 y 33).



**Figura 32. Botellas listas para sumergir.**



**Figura 33. Botellas sumergidas y aseguradas.**



En total se utilizaron 12 botellas, 4 botellas por cada tratamiento. La concentración del oxígeno disuelto, se determinó así:

- El oxígeno se midió inmediatamente se tomo la muestra de agua de cada sistema, (Ver Anexo E).

- Dos botellas oscuras (BO), ubicadas, una en la superficie y la otra a una profundidad de 2 metros, el oxígeno se midió en un periodo de 12 horas de fotoperiodo. (06:00 a.m. a 18:00 p.m.), (Ver Figura 34 y 35), (Ver Anexo E).

**Figura 34. Medición de Oxígeno inicial.**



**Figura 35. Medición de Oxígeno final.**



- Dos botellas claras (BC), fueron ubicadas, una en la superficie y la otra a una profundidad de 2 metros, el oxígeno se midió en un periodo de 12 horas de fotoperiodo. (06:00 a.m. a 18:00 p.m.), (Ver Anexo E).

Se procedió a desarrollar las formulas para obtener las fotosíntesis líquida, fotosíntesis bruta y la respiración, que determinan la productividad acuática y

permiten medir la cantidad de oxígeno producido, tanto en la superficie del agua como a una profundidad de 2 metros, (Ver Anexo E y F)

No fue necesario la utilización de la demanda biológica y química de oxígeno (DBO y DQO), pues no se pretendía constituir una estimación semi-cuantitativa de la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable que contiene una muestra de agua, sino la evaluación de la productividad primaria, donde se cuantifica el oxígeno desprendido por el proceso fotosintético.

Para determinar la demanda total del oxígeno (TOD), se evaluó la respiración en la superficie (RS) y la respiración de lo profundo (RF), así:

$$\bullet \text{ RS} = \frac{[\text{O}_2 \text{ Inicial (BI)} - \text{O}_2 \text{ Final (BC)}]}{\text{Tiempo (6 horas)}} = \text{mgO}_2 / \text{l} / \text{h}$$

$$\bullet \text{ RF} = \frac{[\text{O}_2 \text{ Inicial (BI)} - \text{O}_2 \text{ Final (BC)}]}{\text{Tiempo (6 horas)}} - \text{RS} = \text{mg} / \text{l} / \text{h}$$

Obtenido el TOD, se puede calcular el número de aireadores necesarios para cada sistema, (Ver Anexos G y H).

**6.8.6 Parámetros físico – químicos.** Los registros se realizaron en el día, cada 6 horas, durante 24 horas, por 4 semanas, logrando un número de 84 en un mes, esto con el fin de aprovechar la variación del clima en este tiempo, para lograr variabilidad en los resultados obtenidos en cada uno de los tres tratamientos: aireador de paletas (Sistema 1), aireador splash (Sistema 2) y sin equipo de aireación (Sistema 3) con los sistemas en funcionamiento. Se obvió la medición de las 12 de la noche, por seguridad, en el embalse de Betania.

Estos parámetros de la calidad de agua, tales como pH, amonio y dureza se registraron de cada uno de los sistemas, por medio del Kit de Análisis de agua HACH FF1A, (Ver Figura 36), (Ver Anexos K, L y M).

**Figura 36. Kit de Análisis de Agua FFIA HACH.**



La medición del oxígeno y la temperatura se llevaron a cabo por medio del equipo digital Oxímetro YSI DO200, (Ver Figura 37) La temperatura se corroboró con un termómetro de cubierta en plástico, que maneja una escala en grados centígrados (-40° a 70 °C), (Ver Anexos I y J).

**Figura 37. Oxímetro YSI**





**6.8.7 Muestreos.** En el desarrollo de la investigación los muestreos se realizaron cada 15 días, donde se recolectaban como mínimo 120 ejemplares, con el fin de evitar el estrés en los animales, estos sirvieron para determinar el peso y evaluar los datos de conversión alimenticia y mortalidad.

Se realizó este método 3 veces con animales al azar, donde se contaron como mínimo 40 peces, después de ser capturados, con una nasa de ojo de malla de una pulgada en una sección del jaulón, después de atraerlos con un poco de comida, (Ver Figura 38 y 39)

**Figura 38. Captura para el muestreo.**



**Figura 39. Pesaje de animales.**



## 6.9 TRATAMIENTOS.

Se evaluaron tres tratamientos, correspondientes a un jaulón por tratamiento, distribuidos de la siguiente manera:

T1: Testigo, sin aireación mecánica, (Ver Figura N° 40)

T2: Aireación mecánica con el equipo de paletas de 2 caballos de fuerza, (Ver Figura N° 41)

T3: Aireación mecánica con equipo splash de 2 caballos de fuerza, (Ver Figura N° 42)

**Figura 40. Jaulón testigo.**



**Figura 41. Jaulón con aireador de paletas.**



**Figura 42. Jaulón con aireador Splash.**



## 7. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Se aplicó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), conformado por tres tratamientos, los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confiabilidad del 95%. Este diseño se empleó debido a que los parámetros tienen una variación en la mañana, medio día y tarde, por lo tanto existe la necesidad de agrupar, tomando como bloques estos tres periodos.

Los bloques tuvieron el mismo número de unidades experimentales y estuvieron constituidos por el horario en el que se tomaron los datos (mañana, medio día, noche) los tratamientos se distribuyeron al azar dentro de cada bloque.

Se trabajaron tres jaulones de 400 m<sup>2</sup>, por lo cual, cada jaulón constituye un tratamiento.

Al final del experimento, los datos fueron presentados mediante técnicas de estadística descriptiva. Además, se aplicó un análisis de varianza para aquellas variables que cumplan con los supuestos estadísticos, y una prueba de comparación de Tukey en las variables que se detectaron diferencias estadísticas.

Para la variable mortalidad se utilizó una prueba específica de Brand y Snedecor.<sup>55</sup> Con un 99% de confiabilidad.

Donde sí  $\chi^2 c \geq \chi^2 t$  : Rechazo la Ho;  $\chi^2 t$ , con 1° de libertad con 99% de confiabilidad.

**Hipótesis.** En la presente investigación se verificaron las siguientes hipótesis estadísticas.

- **Ho:**  $\mu_1 = \mu_2$  el efecto medio de los tratamientos es igual.
- **Ha:**  $\mu_1 \neq \mu_2$  el efecto medio de los tratamientos es diferente.

---

<sup>55</sup> SNEDECOR, George, GOSSET William. Diseños Experimentales. México D.F., México: Editorial Continental, 1977. p.300.

## 7.1 VARIABLES EVALUADAS.

Las variables evaluadas para determinar la mejor eficiencia de los equipos utilizados, fueron:

**7.1.1 Variables para calidad de agua.** Los parámetros fueron tomados cada dos días, por un periodo de sesenta días.

**7.1.1.1 Oxígeno disuelto:** Para determinar la cantidad de oxígeno por litro (mg/l), y porcentajes de saturación (%), se realizaron mediciones en la mañana, medio día y tarde, cada 6 horas, por medio de un oxímetro.

**7.1.1.2 Temperatura.** Las mediciones se realizaron tres veces en el día por medio de un termómetro en grados centígrados. (-40° a 70 °C), a una profundidad de metro y medio. (1.5 m).

**7.1.1.3 pH.** Se evaluó por medio del kit de análisis de agua.

**7.1.1.4 Amonio.** Se midió en miligramos por litro (mg/l) por medio del kit de análisis de agua.

**7.1.1.5 Dureza.** Se determinó la medida de concentraciones de los iones de Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> expresadas en miligramos por litro (mg/l), por medio del kit de análisis de agua.

**7.1.2 Variables de parámetros productivos.** Como se mencionó anteriormente, para estas variables se realizaron muestreos cada 15 días.

**7.1.2.1 Incremento de peso día (IP).** Se determinó con el muestreo de cada tratamiento, correspondiente a 120 animales, al inicio del estudio y luego cada dos semanas, durante dos meses. El cálculo del incremento de peso se realizó con la siguiente fórmula:

$$IP = \frac{Pf - Pi}{n}$$

Donde: **IP** = Incremento de peso  
**Pf** = Peso final  
**Pi** = Peso inicial  
**n** = Numero de días

**7.1.2.2 Conversión alimenticia aparente.** Se determinó con base en la cantidad de alimento suministrado y el incremento de peso obtenido durante el estudio de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$C.A.A = \frac{A.S}{I.P}$$

Donde:

**C.A.A** = Conversión alimenticia aparente  
**A.S** = Alimento suministrado  
**IP** = Incremento de peso

**7.1.2.3 Mortalidad.** Se estableció mediante la fórmula:

$$\%M = \frac{N_o.M}{N_o.I} \times 100$$

Donde:

**%M** = % de mortalidad  
**N<sub>o</sub>M** = Número de animales muertos  
**N<sub>o</sub>I** = Número inicial de animales

### 7.1.3. Variables para la evaluación de equipos.

**7.1.3.1  $Kla_t$ .** Con esta variable se logro determinar la transferencia de oxigeno que un aireador puede transferir en una hora, a un cuerpo de agua, a la temperatura de la prueba.

$$Kla_t = \frac{1,1}{(t_{70} - t_{10})/60}$$

Donde:

**$Kla_t$**  = Coeficiente de transferencia de  $O_2$ .  
 **$t_{70}$**  = tiempo que el  $O_2$  alcanzo el 70% de saturación.  
 **$t_{10}$**  = tiempo que el  $O_2$  alcanzo el 10% de saturación.

**7.1.3.2  $Kla_{20}$ .** Con esta variable se logro determinar la transferencia de oxigeno que un aireador puede transferir en una hora, a un cuerpo de agua, a la temperatura de 20°C.

$$Kla_{20} = Kla_t \times 1.024^{20-T}$$

Donde:

**$Kla_{20}$**  = Coeficiente de transferencia de  $O_2$  en la  $T^0$  de la prueba.

**$Kla_t$**  = Coeficiente de transferencia de  $O_2$ .

**T** = Temperatura de la prueba.

**7.1.3.3 SOTR.** Con esta variable se pudo determinar la cantidad de oxigeno que un aireador puede transferir en una hora, para un cuerpo de agua clara a 20°C. (Kg  $O_2$ /h)

$$SOTR = Kla_{20} \times Cs \times V \times 10^{-3}$$

Donde:

**SOTR** = Rata de Transferencia de Oxígeno Estándar (Kg  $O_2$ /h).

**$Kla_{20}$**  = Coeficiente de transferencia de  $O_2$  en la  $T^0$  de la prueba.

**Cs** = Concentración del oxigeno saturado a 20°C (g/m<sup>3</sup>).

**V** = Volumen del tanque donde fue realizada la prueba (m<sup>3</sup>).

**10-4** = Factor para convertir g en Kg (Kg/g)

**7.1.3.4 SAE.** Sirvió para calcular la cantidad de oxigeno que un aireador puede transferir en una hora, para un cuerpo de agua clara a 20 °C, dividido por una unidad de energía. (Kg  $O_2$ /kw/h).

$$SAE = \frac{SOTR}{Potencia (cv)}$$

Donde:

**SAE** = Eficiencia Estándar de Aireación (kg  $O_2$ /kw/h).

**Cv** = Caballos de vapor o HP

#### 7.1.4 Variables para la determinación del número de aireadores.

Para conocer el número de aireadores necesario para un sistema de producción intensivo en jaulas, se aplicó la demanda de oxígeno total entre la transferencia de oxígeno.

$$\text{No. aireadores} = \frac{\text{TOD}}{\text{OTR}_T}$$

Donde:

**TOD** = Demanda total de Oxígeno (Kg O<sub>2</sub>/h).

**7.1.4.1 TOD.** Demanda total de oxígeno (g O<sub>2</sub>/h), se estableció mediante la fórmula:

$$\text{TOD} = \text{DO} \times V \times 10^{-3}$$

Donde:

**DO** = Demanda de Oxígeno (g O<sub>2</sub>/h).

**V** = Volumen del tanque donde fue realizada la prueba (m<sup>3</sup>).

**10<sup>-3</sup>** = Factor para convertir g en Kg (Kg/g)

**7.1.4.2 DO.** Demanda de Oxígeno (g O<sub>2</sub>/h), se estableció mediante la fórmula:

$$\text{DO} = \text{CO} + \text{RC} + \text{RF}$$

Donde:

**DO** = Demanda de Oxígeno (g O<sub>2</sub>/h).

**CO** = Consumo de O<sub>2</sub> de la Tilapia (0,19 g O<sub>2</sub> /m<sup>3</sup>/h).

**RC** = Respiración de la columna de agua (g O<sub>2</sub> /m<sup>3</sup>/h).

**RF** = Respiración a (2) metros de profundidad (g O<sub>2</sub> /m<sup>3</sup>/h).

#### 7.1.4.3 Métodos de medición de la productividad acuática.

▪ **Fotosíntesis líquida (FL)** = O<sub>2</sub> BC – O<sub>2</sub> BI

▪ **Fotosíntesis bruta (FB)** = O<sub>2</sub> BC – O<sub>2</sub> BO

▪ **Respiración** = O<sub>2</sub> BI – O<sub>2</sub> BO



Donde:

**O<sub>2</sub> BC** = oxígeno presente en botellas claras

**O<sub>2</sub> BI** = oxígeno presente en la botella inicial

**O<sub>2</sub> BO** = oxígeno presente en botellas oscuras

#### 7.1.4.4 Tasa de transferencia de O<sub>2</sub> a 20<sup>0</sup> C (Kg O<sub>2</sub>/h).

$$OTR_{20} = \frac{SOTR (C_s - C_1)}{C_s}$$

Donde:

**SOTR** = Rata de Transferencia de Oxígeno Estándar (Kg O<sub>2</sub>/h).

**C<sub>s</sub>** = Concentración del oxígeno saturado a 20°C (g/m<sup>3</sup>).

**C<sub>1</sub>** = Mínimo de O<sub>2</sub> al que el animal será sometido

**OTR<sub>T</sub>** = Tasa de transferencia de O<sub>2</sub> en el tanque en función del SOTR (Kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h).

#### 7.1.4.5 Tasa de transferencia de O<sub>2</sub> en función del SOTR (Kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h).

$$OTR_T = OTR_{20} \times 1,024^{[20-T]}$$

Donde:

**OTR<sub>T</sub>** = Tasa de transferencia de O<sub>2</sub> en el tanque en función Del SOTR (Kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/h).

**OTR<sub>20</sub>** = Tasa de transferencia de O<sub>2</sub> a 20<sup>0</sup> C (Kg O<sub>2</sub>/h).

**T** = Temperatura

**[20 - T]** = Valor absoluto

## 7.2 ANÁLISIS PARCIAL DE COSTOS.

Se realizó un análisis de costos, teniendo en cuenta los costos variables como el consumo de combustible para el funcionamiento de los equipos a instalar, operario, animales, alimento y costos de producción fijos, con el fin de determinar la relación beneficio costo de cada tratamiento.

La relación beneficio costo toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultado, para determinar cuáles son los beneficios por cada peso que se sacrifica en el proyecto, para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$\bullet \text{ B/C} = \frac{\text{Ingreso Bruto}}{\text{Costos variables}}$$

## 8. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 8.1 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis de agua realizado en los jaulones, correspondientes a oxígeno disuelto, temperatura, pH, amonio y dureza, durante el periodo de investigación según la tabla 5.

**Tabla 5. Datos de media, desviación estándar y coeficiente de variación, para las variables oxígeno, temperatura, pH, amonio y dureza, obtenidos en los tres tratamientos.**

Ttos	T1			T2			T3		
	Media	desvest	c.v	media	desvest	c.v	media	desvest	c.v
Oxígeno disuelto	3,02	0,19	6,35	3,17	0,22	6,84	3,19	0,22	7,03
T°	21,8	1,64	7,53	21,19	1,13	5,33	21,13	1,35	6,43
pH	7,00	0,05	0,72	7,03	0,05	0,78	7,02	0,05	0,83
Amonio	0,04	0,00	3,21	0,04	0,00	3,08	0,04	0,00	2,76
Dureza	103,62	1,87	1,81	103,92	1,37	1,32	104,05	1,25	1,20

**8.1.1 Oxígeno disuelto.** En la muestra estudiada fue posible determinar la cantidad de oxígeno disuelto, presente en los tres tratamientos. La media para el oxígeno en el tratamiento 1 fue de  $3,02 \pm 0,19$  mg/l con un coeficiente de variación de 6,35%, para el tratamiento 2 la media fue de  $3,17 \pm 0,22$  mg/l, presentando un coeficiente de variación de 6,84% y finalmente el tratamiento 3 presenta una media de  $3,19 \pm 0,22$  mg/l y su coeficiente de variación representa el 7,03%.

Los valores obtenidos en los tres tratamientos, están en los rangos permitidos para esta especie, las ventajas de la tilapia roja (*Oreochromis sp.*), según Alamila<sup>56</sup> es que puede vivir en condiciones ambientales adversas debido precisamente a que soporta bajas concentraciones de oxígeno disuelto, ello se debe a la capacidad de su sangre a saturarse de oxígeno aún cuando la presión parcial de este último sea baja. Asimismo, la Tilapia roja tiene la facultad de reducir su consumo de oxígeno cuando la concentración en el medio es baja (inferior a 3 mg/l).

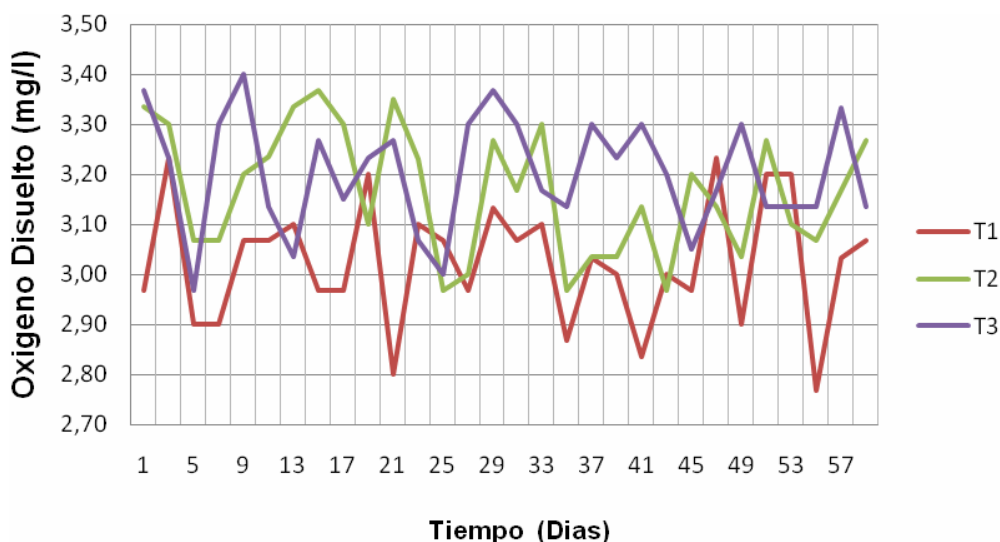
<sup>56</sup>ALAMILA, Hugo. Cultivo de Tilapia. México: Tecno-Campo-Acuicultura. (Disponible en Internet en URL: [www.zoetecnocampo.com.htm](http://www.zoetecnocampo.com.htm)).

El autor continua afirmando, que cuando esta concentración disminuye aún más, su metabolismo se vuelve anaeróbico. Sin embargo es claro que entre mayor sea la cantidad de oxígeno presente, se obtendrán mejores resultados en cuanto a parámetros productivos e incremento en las densidades de siembra.

Mediante el análisis estadístico se pudo determinar que existen diferencias significativas entre las varianzas de los tratamientos con una confiabilidad del 95% (Anexo N), por lo tanto se procedió a realizar una prueba de Tukey para corroborar la diferencia entre los tratamientos, obteniendo que entre los tratamientos 2 y 3 no existen diferencias, mientras que existen diferencias entre el tratamiento 1 con respecto a los tratamientos 2 y 3, indicando que los últimos arrojaron mejores resultados que el tratamiento 1, en cuanto a la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. (Ver Figura 43)

Para Carrillo, Rodríguez y Victoria<sup>57</sup> una buena cantidad de oxígeno disuelto, permite incrementar las densidades de siembra hasta en un 30%, además proporciona mejores rendimientos en cuanto a incremento de peso y menor mortalidad, controla los excesos en los niveles de amonio, fósforo y nitritos. Controla el crecimiento de algas, que evita altas concentraciones de nutrientes y elimina gases tóxicos.

**Figura 43. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto durante el periodo de investigación expresado en (mg/l), de los tres tratamientos.**



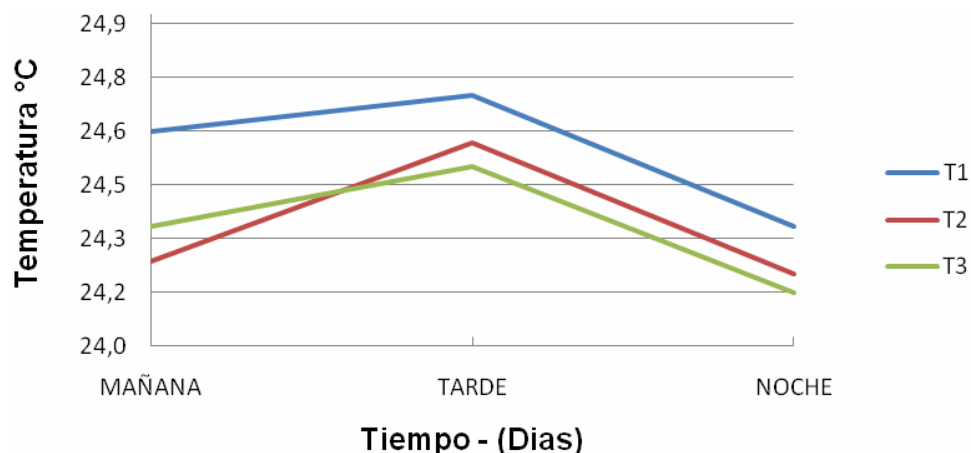
<sup>57</sup> CARRILLO, Mauricio; RODRIGUEZ, Horacio; VICTORIA, Piedad. Fundamentos de acuicultura continental. Segunda edición. Bogotá: INPA, 2001. p. 236.

Las concentraciones de oxígeno disuelto durante el periodo de investigación, demostraron que los tratamientos 2 y 3 fueron superiores con respecto al tratamiento 1, superando los niveles marcados por este ultimo. Cabe anotar que existe una diferencia entre los tratamientos 2 y 3, debido a circunstancias naturales del embalse, pero, expresan claramente su capacidad de transferencia de oxígeno atmosférico al agua, en especial el tratamiento 3.

**8.1.2 Temperatura.** Para la temperatura se establece que para el tratamiento 1 el promedio corresponde a  $24,8 \pm 1,64$  °C cuyo coeficiente de variación se estima en un 7,53%, el promedio para el tratamiento 2 fue de  $24,19 \pm 1,13$  °C y con un coeficiente de variación es 5,33%; por su parte el tratamiento 3 presenta un promedio de  $24,13 \pm 1,35$  °C siendo el coeficiente de variación de 6,43%. La variación en la temperatura se da porque los tratamientos 2 y 3 cuentan con sistemas de aireación; paletas y splash respectivamente, y una de sus ventajas es la homogenización de la temperatura, logrando una circulación constante del agua entre la zona de epilimio (mas caliente) y la zona de hipolimio (mas fría), en este caso no varió mas de 1°C, (Ver Figura 44).

Mediante el análisis estadístico se pudo determinar que existen diferencias estadísticas entre las varianzas de los tratamientos, se logro comprobar mediante la prueba de Tukey, (Ver Anexo Ñ) que entre los tratamientos 2 y 3 no existen diferencias, mientras que entre los tratamientos 1 y 2 si existen diferencias significativas, igualmente entre el tratamiento 1 y 3. Sin embargo los valores de temperatura en los tres tratamientos, dentro de la investigación se encuentran bajo los rangos óptimos para esta especie.

**Figura 44. Comportamiento de la temperatura durante diferentes horas del día, en los tres tratamientos.**

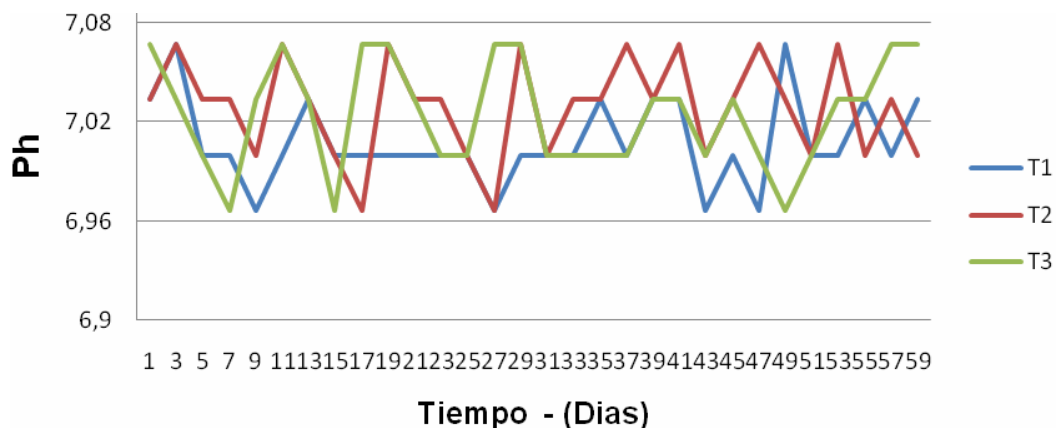


**8.1.3 pH.** Para esta variable se determinaron los siguientes resultados, en el T1 el promedio fue de  $7,00 \pm 0,05$  y un coeficiente de variación de 0,72%, el T2 presenta un promedio de  $7,03 \pm 0,05$  con un coeficiente de variación de 0,78% y el T3 tiene un promedio de  $7,02 \pm 0,05$  y su coeficiente de variación es de 0,83%. Después de realizar una prueba estadística, (Ver Anexo O), se pudo comprobar que se presentan diferencias entre los tratamientos y por medio de Tukey se pudo observar que existen diferencias entre el tratamiento 1 y los tratamientos 2 y 3, mientras que 2 y 3 son iguales, no obstante los valores de pH reportados en estos tratamientos, se encuentran dentro del rango permitido para esta especie, (Ver Figura 45)

Para Carrillo, Rodríguez y Victoria<sup>58</sup> el rango óptimo está entre 6,5 a 9,0, valores por encima o por debajo, causan cambios de comportamiento en los peces como letárgia, inapetencia, disminuyen y retrasan la reproducción y disminuyen el crecimiento.

Valores de pH cercanos a 5,0 producen mortalidad en un periodo de 3 a 5 horas, por fallas respiratorias, además causan pérdidas de pigmentación e incremento en la secreción de mucus. Cuando se presentan niveles de pH ácidos el ión férrico se vuelve soluble afectando los arcos branquiales y disminuyendo los procesos de respiración, causando la muerte por anoxia.

**Figura 45. Comportamiento del pH durante el periodo de investigación de los tres tratamientos.**



<sup>58</sup> Ibid, p.153.

**8.1.4 Amonio.** En cuanto al amonio se obtuvieron los siguientes resultados, para el T1 el promedio fue de 0,04 cuyo coeficiente de variación fue de 3,21%, el T2 se encuentra en un promedio de 0,04 presentando un coeficiente de variación de 3,08%, finalmente el T3 presenta un promedio de 0,04 y un coeficiente de variación de 2,76%. Fue necesario realizar un análisis de varianza entre los tres tratamientos, determinando que no existen diferencias estadísticas entre ellos, (Ver Anexo P).

Es importante mencionar que el amonio no ionizado es un elemento tóxico, por tal razón es importante el uso de sistemas de aireación, ya que la toxicidad del amonio aumenta con una concentración baja de oxígeno y una temperatura alta. Los valores de amonio para esta especie deben fluctuar entre 0,01 ppm a 0,1 ppm; valores cercanos a las 2 ppm son críticos.

Según Carrillo, Rodríguez y Victoria<sup>59</sup>, una concentración alta de amonio en el agua causa bloque del metabolismo, daño en las branquias, afecta el balance de las sales, produce lesiones en órganos internos, inmunosupresión y susceptibilidad a enfermedades, reducción del crecimiento y la sobrevivencia, exoftalmia y ascitis.

Lo anterior indica que los tres tratamientos están dentro del rango recomendado por este autor, sin embargo se debe tener en cuenta los demás factores que alteran su nivel de toxicidad.

**8.1.5 Dureza.** Para esta variable el T1 tuvo una media de  $103,62 \pm 1,87$  con un coeficiente de variación de 1,81%, en el T2 la media fue de  $103,92 \pm 1,37$  cuyo coeficiente de variación se estimó en 1,32% y en el T3 se encontró una media de  $104,05 \pm 1,25$  presentando un coeficiente de variación de 1,20%.

Mediante una prueba estadística se pudo determinar que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, (Ver Anexo Q)

---

<sup>59</sup> Ibid, p.164.

## 8.2 PARÁMETROS FISIOLÓGICOS EN LA MUESTRA ESTUDIADA, DURANTE EL PERIODO DE INVESTIGACIÓN.

A continuación se presentan los resultados en cuanto a parámetros fisiológicos tales como incremento de peso, conversión alimenticia y mortalidad, (Ver Tabla 6)

**Tabla 6. Datos de media, desviación estándar y coeficiente de variación, para las variables incremento de peso, conversión alimenticia y mortalidad, obtenidos en los tres tratamientos.**

Ttos	T1			T2			T3		
	Media	desvest	c.v	media	desvest	c.v	media	desvest	c.v
I. peso	75,40	1,26	6,85	108,96	2,79	7,98	121,27	4,30	12,21
C.A.	1,27	0,02	1,36	1,26	0,06	4,57	1,25	0,01	0,08
Mortalidad	14,66	5,12	34,94	14,28	4,15	29,07	12,88	4,30	33,42

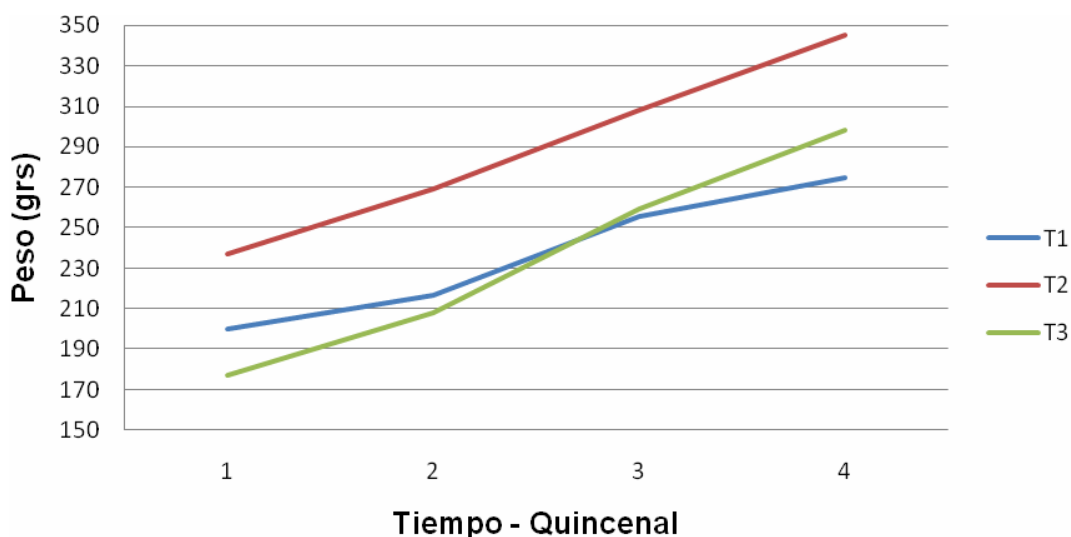
**8.2.1 Incremento de peso día.** En esta variable se establecieron los siguientes resultados, en el T1 el promedio fue de  $75,40 \pm 1,26$  y un coeficiente de variación de 6,85%, el T2 muestra un promedio de  $108,96 \pm 2,79$  con un coeficiente de variación de 7,98 % y el T3 obtiene un promedio de  $121,27 \pm 4,30$  y su coeficiente de variación es de 12,21%.

Realizando un análisis de varianza para esta variable los resultados indican que existen diferencias estadísticas significativas, (Ver Anexo R) por lo cual fue necesario efectuar una prueba de Tukey, la cual determinó que hay diferencias entre el tratamiento 1 y 2 y entre 1 y 3, sin embargo en los tratamientos 2 y 3 se presenta una diferencia no significativa.

La tendencia del incremento de peso, en la muestra estudiada durante el periodo de investigación, nos indica que en el tratamiento 2, el incremento de peso tiende a ser más alto, pero esto debido al peso inicial de los animales, mostrando una ganancia diaria de aproximadamente 1,8 gr/día, mientras que el que en el tratamiento 1, tan solo se observa una ganancia promedio día de 1,25 gr/día, y en el tratamiento 3, se observa que a pesar de iniciar los animales con un peso más bajo, logra establecerse con una ganancia día de 2,0 gr/día. Donde se utiliza sistemas de aireación, al parecer y según esta investigación la especie crece con mejores condiciones, (Ver Figura 46)



**Figura 46. Tendencia del incremento de peso, en los muestreos, durante el periodo de investigación, en los tres tratamientos.**

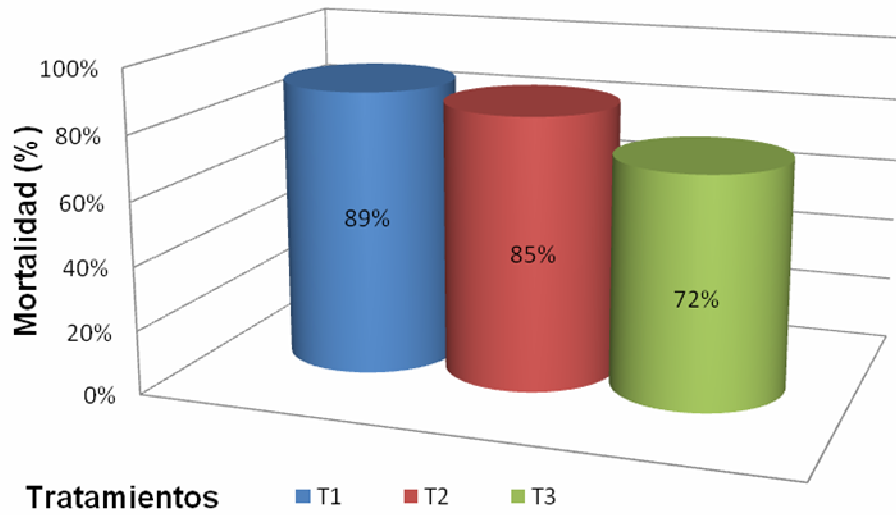


**8.2.2 Conversión alimenticia.** El T1 presentó una conversión alimenticia en promedio de 1,26; el T2 en promedio tuvo 1,27 y finalmente en el T3 se encontró una conversión alimenticia de 1,23, con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza para las tres tratamientos teniendo como resultado que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Anexo S).

Esto no quiere decir que la inclusión de aireadores no presenta variación en la conversión alimenticia de los tratamientos, al contrario, ayudo para no tener conversiones más altas. Posiblemente la igualdad pudo deberse a varios factores presentados desde la misma siembra, tales como: mortalidad, manejo no adecuado en el plan de alimentación, robo, cosechas preliminares, etc.

**8.2.3 Porcentaje de Mortalidad.** Los porcentajes de mortalidad en los tres tratamientos, fueron tomados solamente en el periodo de la investigación, obteniéndose un mayor porcentaje de mortalidad en el T1 con 0,89%, seguido de el T2 con 0,85% y finalmente el T3 con 0,72%, sin embargo al realizar la prueba estadística de Brand Snedecor fue posible determinar que entre los tratamientos no existen diferencias estadísticas significativas, con un 95% de confiabilidad (Anexo O). A pesar de los resultados obtenidos estadísticamente, se puede concluir que entre menor sea la mortalidad habrá una mejor estabilidad económica de la producción, (Ver Figura 47).

**Figura 47. Porcentaje de mortalidad presentada en los tres tratamientos, durante la investigación.**



### 8.3 DETERMINACIÓN DE LA (SOTR) Y LA (SAE) PARA LOS DOS SISTEMAS.

**Tabla 7. Registro de datos obtenidos en el tanque, para determinación de SOTR y SAE en los dos sistemas.**

<b>Datos calculados</b>	<b>Sistema Paletas</b>	<b>Sistema Splash</b>
100% de saturación de Oxígeno inicial (mg/l)	5,98	6,19
Temperatura (°C)	19,4	18,7
Presión barométrica corregida (ml Hg)	638	638
Oxígeno disuelto corregido (mg/l)	8,17	8,34
Coeficiente de transferencia de oxígeno en la temperatura de la prueba (KlaT) (h <sup>-1</sup> )	3,47	3,88
Coeficiente de transferencia de oxígeno a 20° C (Kla <sub>20</sub> )(h <sup>-1</sup> )	3.52	4,00
Rata de transferencia de oxígeno estándar (SOTR) (Kg O <sub>2</sub> /h).	1,44	1,67
Eficiencia de Aireación estándar (SAE) (Kg O <sub>2</sub> /kw/h).	0,96	1,12

La Tabla 7 indica que para el sistema de paletas, el 100% de saturación de oxígeno, corresponde a 5,98 mg/l, a partir de este dato se pudo determinar cómo se indica en el Anexo A que el 10% de saturación (0,61 mg/l), se obtuvo al minuto 3 y el 70% de saturación (4,16 mg/l) al minuto 22, así mismo, teniendo en cuenta que en el sistema splash el 100% de saturación, corresponde a 6,19 mg/ ; valor del oxígeno tomado al inicio de la prueba, se obtiene como resultado como está registrado en el Anexo B, un tiempo de 2 minutos para obtener el 10% de saturación (0,59 mg/l) y 19 minutos para el 70% de saturación (4,33 mg/l), aproximado, indicando que, el aireador splash, produce mejores resultados, por cuanto, transmite oxígeno en menos tiempo que el sistema de paletas ya que posee una mayor rata de transferencia de oxígeno (SOTR)(1,67 Kg O<sub>2</sub>/h)y tiene una alta eficiencia de aireación estándar (SAE)(1,12 Kg O<sub>2</sub>/Kw/h).

#### 8.4 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA TOTAL DE OXÍGENO Y NÚMERO DE AIREADORES NECESARIOS EN LA REPRESA, PARA CADA TRATAMIENTO.

**Tabla 8. Datos obtenidos para la demanda total de oxígeno y número de aireadores para cada tratamiento.**

Datos calculados	Tratamiento 2	Tratamiento 3
Demanda de Oxígeno (DO) (g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> /h)	1,071	1,25
Demanda total de Oxígeno (TOD)( Kg O <sub>2</sub> /h)	0,65	0,76
Tasa de transferencia de O <sub>2</sub> a 20 <sup>0</sup> C (OTR <sub>20</sub> )( Kg O <sub>2</sub> /h)	0,72	0,84
Tasa de transferencia de O <sub>2</sub> en el tanque en función del SOTR (Kg O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> /h). (OTR <sub>T</sub> ) (Kg O <sub>2</sub> /h)	0,83	0,82
Número de aireadores	0,78 Aproximado 1(*)	0,93 Aproximado 1(*)

(\*) Se debe tener en cuenta que se está tomando el volumen del jaulón estático, es decir sin ningún recambio.

La Tabla 8, indica que el número de equipos a utilizar en cada una de las unidades productivas es de aproximadamente un aireador. Para esto, fue necesario conocer el OTR<sub>T</sub> de cada equipo, el cual se obtiene en función del SOTR. Para ello, es necesario calcular la Demanda de Oxígeno, que corresponde al consumo respiratorio del agua, de los fondos y el impuesto de la respiración de los animales, que para este estudio correspondió al tratamiento 2 (Paletas) a 1,071 g O<sub>2</sub> /m<sup>3</sup>/h y al tratamiento 3 (splash) 1,25 g O<sub>2</sub> /m<sup>3</sup>/h. Obteniéndose, según el volumen del jaulón, una Demanda total de Oxígeno, para cada tratamiento correspondiente a 0,65 Kg O<sub>2</sub>/h y 0,76 Kg O<sub>2</sub>/h.

Es de suma importancia la tasa de transferencia de oxígeno del equipo con el que se trabajara en la unidad productividad, porque determinara la cantidad de aireadores a utilizar y por ende la inversión que se realizara, como se ve en este caso, la transferencia del Tratamiento 3, es mayor (0,82 Kg O<sub>2</sub>/h) que el del Tratamiento 2 (0,83 Kg O<sub>2</sub>/h) y la cantidad de aireadores es menor 0,93 que 0,78 del tratamiento 2.

## 8.5 ANÁLISIS PARCIAL DE COSTOS.

**Tabla 9. Costos parciales de producción por kilo de Tilapia roja por tratamiento.**

<b>COSTOS VARIABLES (\$)</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
Alevinos	406	406	406
Alimento	1.400	1.400	1.400
Combustible(ACPM)galones/Kilo/producido	0	186	185
Operario	103	75	75
<b>Total costos variables (\$)</b>	<b>\$ 1.909</b>	<b>\$ 2.067</b>	<b>\$ 2.066</b>
<b>COSTOS FIJOS (\$)</b>			
Equipo (Depreciación 5 años - 20%)	0	1,88	2,17
Jaulón (Depreciación 5 años - 20%)	\$ 12,80	\$ 9,40	\$ 9,34
Bote (Depreciación 5 años - 20%)	\$ 6,80	\$ 4,99	\$ 4,96
<b>Total costos fijos (\$)</b>	<b>\$ 19,60</b>	<b>\$ 16,27</b>	<b>\$ 16,47</b>
<b>Total costos de producción/ kilo</b>	<b>\$ 1.928,35</b>	<b>\$ 2.083,47</b>	<b>\$ 2.082,21</b>
<b>Precio de venta (kilo)</b>	<b>\$ 3.040</b>	<b>\$ 3.040</b>	<b>\$ 3.040</b>
<b>Kilos producidos en cada tratamiento</b>	<b>7.786</b>	<b>10.638</b>	<b>10.704</b>
<b>TOTAL INGRESO BRUTO(\$)</b>	<b>\$ 23.669.440</b>	<b>\$ 32.339.520</b>	<b>\$ 32.540.160</b>
<b>TOTAL COSTOS DE PRODUCCION (\$)</b>	<b>\$ 15.014.122</b>	<b>\$ 22.163.976</b>	<b>\$ 22.287.959</b>
<b>UTILIDAD (\$)</b>	<b>\$ 8.655.318</b>	<b>\$ 10.175.544</b>	<b>\$ 10.252.201</b>

**8.5.1 Relación Beneficio Costo.** La relación Beneficio vs. Costo, como se indica en la tabla 10, los tres tratamientos tienen un índice de ganancia diferente. Por cada peso invertido se estima una ganancia de \$57 centavos de peso (\$1,57) para el tratamiento 1, sin embargo se debe tener en cuenta que en el costo total de producción no se incluye equipo de aireación, mientras que en los tratamientos 2 y 3, los cuales cuentan con sistemas de aireación, tienen un índice de ganancia de \$1,45 y \$1,46 respectivamente.

**Tabla 10. Costos e ingresos de producción durante el periodo de investigación**

<b>Tratamiento</b>	<b>Costo Total (\$)</b>	<b>Kilos producidos</b>	<b>Precio Unidad (\$)</b>	<b>Ingreso Bruto (\$)</b>	<b>Ingreso Neto (\$)</b>	<b>B/C (\$)</b>
<b>T1</b>	15.014.122	7.786	3.040	23.669.440	8.655.318	1,576
<b>T2</b>	22.163.976	10.638	3.040	32.339.520	10.175.544	1,459
<b>T3</b>	22.287.959	10.704	3.040	32.540.160	10.252.201	1,460

Lo anterior sugiere que es posible que en un futuro el T3 sea el mejor tratamiento, por presentar una mayor sobrevivencia y por ende un mayor ingreso bruto que los demás tratamientos.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9.1 CONCLUSIONES.

- La utilización de los equipos de aireación electromecánicos en esta investigación e instalados en los cultivos superintensivos del embalse de Betania, mejoraron la producción en gran medida y representada, en el incremento de peso día en la etapa de ceba en el tratamiento 2 con 1.8 gr/día y en el tratamiento 3 con 2,0 gr/día, mientras que el tratamiento 1 tan solo fue de 1,25 gr/día; y en la disminución del porcentaje de mortalidad de cada sistema, tratamiento 1 con el 0,89%, tratamiento 2 con el 0,85% y el tratamiento 3 con 0,72%, indicando beneficio para el productor.
- El sistema electromecánico de aireación splash, presentó en esta investigación una mayor Rata de Transferencia de Oxígeno Estándar (SOTR) al agua, con un valor de 1,67 Kg O<sub>2</sub>/h, una Eficiencia Estándar de Aireación (SAE) de 1,12 Kg O<sub>2</sub>/Kw/h y un coeficiente de Transferencia de Oxígeno a la temperatura de la prueba (KlaT) de 3,88/h, en comparación con el sistema de aireación de paletas, cuyos valores fueron inferiores, presentando un SOTR de 1,44 Kg O<sub>2</sub>/h, SAE de 0,96 Kg O<sub>2</sub>/h , y un KlaT de 3,47/h.
- De acuerdo a la demanda de oxígeno total (TOD), que se obtuvo en los tratamientos 2 y 3, fueron necesarios en cada sistema un (1) aireador, todo esto dependiendo de la respiración de la columna de agua y fondo, la tasa de transferencia de oxígeno en función del SOTR y la transferencia de oxígeno a 20°C.
- Estos equipos ayudan a reducir la mortalidad de los animales, por la presencia de oxígeno transmitido de la atmósfera al agua, la circulación, desgasificación y destratificación de la columna de agua, ayudando a mejorar la conversión alimenticia y ayudando al aprovechamiento del alimento por parte de los animales.

- Cabe destacar que no todos los productores tienen la capacidad de obtener un medio electromecánico aireador para sus granjas piscícolas, sin embargo, esta investigación se verá reflejada y saldada en la utilidad, que le dejará una producción limpia, animales con un aprovechamiento adecuado del alimento, representado en la ganancia de peso y por ende una mayor rentabilidad económica.
- A pesar de los altos costos de los sistemas de aireación, representan una inversión rentable para la producción, como en los tratamientos 2 y 3 por cada peso invertido se estimó una ganancia de \$45 y \$46 centavos de peso respectivamente.



## **9.2 RECOMENDACIONES.**

- Evaluar los equipos de aireación como el sistema de paletas y splash, en cultivos intensivos de otras especies y en otras unidades de cultivo.
- Realizar nuevos ensayos, con volúmenes menores de agua, donde la tasa de recambio sea más baja, para poder diferenciar mejor la influencia que tienen los equipos de aireación en los diferentes parámetros físico químico del agua.
- Incentivar a los productores a implementar estos tipos de sistemas, lo cual arrojará mejores resultados en cuanto a sus parámetros productivos.
- Se recomienda calcular los valores de SOTR y SAE en condiciones ideales, con agua limpia, salinidad cero y temperatura estable, puesto que la demanda de oxígeno en la producción acuícola no es igual cada día.

## BIBLIOGRAFÍA

AVNIMELECH, Y. Efectos de la aireación y la mezcla con Nitrógeno y la transformación de la materia orgánica en estanques de peces. *Aquacultural Engineering*. 1992. 157p.

ACQUA&CO. Sistemas de Aireación. [Online] Italia. 2006. (Disponible en Internet, URL: [www.acquaeco.com](http://www.acquaeco.com)).

ALAMILA, Hugo. Cultivo de Tilapia. México: Tecno-Campo-Acuicultura. (Disponible en Internet en URL: [www.zoetecnocampo.com.htm](http://www.zoetecnocampo.com.htm)).

ARIAS, Alfredo. En: Taller bases para el cultivo de peces ornamentales. Memorias. Pasto: Universidad de Nariño, 2008. 58p.

AYUNAN, A.W. Sistemas de producción en estanques. Prácticas de gerencia de calidad del agua. New York: J. E. Lannan, R. O., 1986.141 p.

BOYD, Claude and WATTEN, John. Aeration systems in aquaculture. *CRC Critical Reviews in Aquatic Sciences*.1989. 425p.

BOYD, Claude. E. y AHMAD T. Evaluation of aerators for channel catfish farming. Auburn University. Alabama. Bulletin. 1987. 52p.

BOYD, Claude. Pond water aeration systems. Auburn University. Auburn. Bulletin. 1998. 40p.

BOYD, Claude E. Calidad del agua en estanques para la acuicultura. Estación Del Experimento de la Agricultura, Auburn: Universidad Castaña, 1990. 23p.

\_\_\_\_\_Deep water installation of a diffused-air aeration system in a shallow pond. *Journal of Applied Aquaculture*. Vol. 5. No.1.1995. 28p.

\_\_\_\_\_New aeration tests may provide better basis for comparison. *Aquaculture Magazine*. 1982.31p.

CARRILLO, Mauricio; RODRIGUEZ, Horacio; VICTORIA, Piedad. Fundamentos de acuicultura continental. Segunda edición. Bogotá: INPA, 2001. 423 p.

COLOMBIA. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI. Municipio de Campoalegre. 2006. (Disponible en Internet, URL: [www.igac.gov.co/información general/huila/htm](http://www.igac.gov.co/información-general/huila/htm)).

COLT, J. Comparación de las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua en función de la Temperatura, Salinidad y Presión. American Fisheries Society 1984.154p.

COLT, J., ORWICZ, C. Aeration in intensive culture. Edición. Tomasso. Auburn. 1991.18p.

CHIEN, Y. Water quality requirements and management for marine shrimp culture. USA: World Aquaculture Society. 1992. 463p.

ESPEJO, Carlos. Sostenibilidad Acuícola. En: V Seminario Internacional de Acuicultura. (5º: 2005: Bogotá). Memorias del V Seminario Internacional de Acuicultura. Bogotá: Universidad Nacional, 2005.27 p.

Entrevista con Fernando Rodríguez Bustos, Biólogo Marino M. Sc. en Acuicultura. Auburn University. Gerente General de Acuagranja Ltda. Bogotá, 19 de Mayo 2006.

Entrevista con Luis Carlos Vinatea Arana, Ph.D Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil. Neiva, 19 de Mayo 2006.

HOPKINS, J. S., et al. Efectos de la tasa de producción con el cambio del agua, calidad de agua en cultivos intensivos en estanques. Jour World Aquaculture Society. 1993. 30p.

KNUT S, NIELSEN Y. Fisiología animal: adaptación y medio ambiente. Ediciones Omega S.A.: Barcelona. España, 1976. 320 p.

LEHNINGER, A. bioquímica. 2. ed. Barcelona: Ediciones Omega, 1979. 1117 p.

PARADA, Gustavo. Sistemas de recirculación para Acuicultura. En: Rev. Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola. Memorias I Seminario Internacional de Producción Acuícola. Pasto: Universidad de Nariño, 2004. p.45

PARKER, Nick y SUTTLE, Marcel. Desempeño de bombas de aire para la circulación de agua y aireación en Acuicultura. Las Vegas. Aquacultural Engineering. 1987. 46 p.

RAPPAPORT, Starrig. Resultados de pruebas en el régimen de oxígeno de varios sistemas de en estanques experimentales de peces, Bamigdeh, Acribia. 1976. 389 p.

ROGERS, Gary. Aeration and Circulation for Effective Pond Management. Aquacultural Engineering. Vol.8. No.5. 1989. 124 p.

SINO – AQUA CORPORATION. Sistemas de Aireación. Taiwán. 2006. (Disponible en Internet, URL: [www.sino-aqua.com](http://www.sino-aqua.com)).

SNEDECOR, George, GOSSET William. Diseños Experimentales. México D.F., México: Editorial Continental, 1977. 300 p.

TIENSONGRUSMEE, B. Pumps and aerators. Canada: Infofish internacional. (1986);135 p.

TIMMONS Michael, EBELING James, WHEATON Fred, SUMMERFELT Steven, VINA Brian. Sistemas de recirculación para la acuicultura. Chile: Fundación Chile. 2002. 560 p.

VALBUENA R., CRUZ P. Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de Tilapia Roja (*Oreochromis sp.*). Orinoquia. Vol. 10. No. 1. 2006. 63 p.

VINATEA, Luis. Aireación En: Seminario internacional de Calidad de Agua y Aireación en Acuicultura. (2006: Neiva). Memorias [CD-ROM]. 2006.

VINATEA, Luis. y Beltrame E. A aeracao ajuda a minimizar o impacto das doenças do camarão marinho? Laboratorio de camarões Marinhos. Depto. De Aquicultura, UFSC. Brasil. 2005. 286 p.

VINATEA, Luis. Principios químicos de qualidade da água em acuicultura. Depto. De Aquicultura, UFSC. Brasil. 2004 230 p.

WHEATON, Frederick W. Aquacultural Engineering. Primera Edición. Toronto: 1972.800 p.

# **ANEXOS**

**ANEXO A. Protocolo para la obtención de la rata de transferencia de oxígeno estándar (SOTR) y la eficiencia estándar de aireación (SAE) del aireador de paletas.**

- Lugar y fecha: Municipio de San Antonio, mayo 5 del 2008
- Marca del aireador: Sino -Aqua
- Modelo: SA-A220
- Año de fabricación: 2003
- Marca del motor: Sino-Aqua
- Potencia: 2 hp Trifásico
- Diámetro del rotor: 70 cm
- Profundidad de inmersión de las aspas: 12 cm

**Tasa Patrón de Transferencia de Oxígeno – SOTR (Kg O<sub>2</sub> h<sup>-1</sup>)**

- Volumen del tanque (m<sup>3</sup>): 50
- Volumen del agua (m<sup>3</sup>): 50
- Salinidad (‰): 0,0
- Temperatura del agua (°C): 18,95
- Oxígeno disuelto (mg/ L): 6
- 10% de la saturación (mg/ L): 0,61
- 70% de la saturación (mg /L): 4,16
- Cantidad de NaSO<sub>3</sub> agregado (10 mg / l / mg de O<sub>2</sub>): 3 Kg
- Cantidad de Cl<sub>2</sub> Co agregado (0.1 mg/l): 50gr

**Oxígeno Disuelto en un tiempo determinado.**

Tiempo (minutos)	Oxígeno (mg/l)	% de Saturación	Tiempo (minutos)	Oxígeno (mg/l)	% de Saturación
1	0,04	7,70	16	3,52	51,20
2	0,18	10,10	17	3,67	54,00
3	<b>0,61</b>	11,70	18	3,79	56,70
4	0,97	14,20	19	3,83	59,40
5	1,18	19,50	20	3,96	57,20
6	1,32	21,20	21	4,02	60,50
7	1,52	25,90	22	<b>4,16</b>	64,00
8	1,83	30,00	23	4,27	65,00
9	2,09	24,40	24	4,78	64,00
10	2,38	35,20	25	4,92	65,00
11	2,51	36,70	26	5,30	64,00
12	2,79	38,50	27	5,70	62,70
13	3,05	42,90	28	5,98	63,50
14	3,27	44,10	29	5,97	64,70
15	3,41	45,70	30	5,98	64,50

**ANEXO B. Protocolo para la obtención de la rata de transferencia de oxígeno estándar (SOTR y la eficiencia estándar de aireación (SAE) del aireador splash.**

- Lugar y fecha: Municipio de San Antonio, mayo 5 del 2008
- Marca del aireador: Sino- Aqua
- Modelo: AQ-S002
- Año de fabricación: 2004
- Marca del motor: Sino-Aqua
- Potencia: 2 hp Trifásico
- Diámetro del rotor: 30 cm
- Profundidad de inmersión de las aspas: 15 cm

**Tasa Patrón de Transferencia de Oxígeno – SOTR (Kg O<sub>2</sub> h<sup>-1</sup>)**

- Volumen del tanque (m<sup>3</sup>): 50
- Volumen del agua (m<sup>3</sup>): 50
- Salinidad (‰): 0,0
- Temperatura del agua (°C): 18,7
- Oxígeno disuelto (mg/ L): 6,19
- 10% de la saturación (mg/ L): 0,59
- 70% de la saturación (mg /L): 4,33
- Cantidad de NaSO<sub>3</sub> agregado (10 mg / l / mg de O<sub>2</sub>): 3 Kg
- Cantidad de Cl<sub>2</sub> Co agregado (0.1 mg/l): 50gr

**Oxigeno Disuelto en un tiempo determinado.**

Tiempo (minutos)	Oxigeno (mg/l)	% de Saturación	Tiempo (minutos)	Oxigeno (mg/l)	% de Saturación
1	0,06	0,07	16	3,89	41,3
2	<b>0,59</b>	6,6	17	4,03	43
3	0,85	9,5	18	4,15	45
4	1,14	9,8	19	<b>4,33</b>	47,1
5	1,21	11,1	20	4,48	48
6	1,38	14,9	21	4,55	48,8
7	1,44	16,2	22	4,76	51,1
8	1,68	18,1	23	5,04	54,1
9	2,25	24,4	24	5,16	55,5
10	2,45	26,2	25	5,22	56
11	2,57	27,8	26	5,38	57,3
12	2,85	30,0	27	5,41	58,4
13	3,00	31,6	28	5,53	58,8
14	3,13	33,9	29	5,75	58
15	3,67	40,0	30	5,87	61

**ANEXO C. Calculo del  $K_{lat}$ ,  $K_{la20}$ , SOTR y SAE, de los equipos de aireación, en hoja electrónica excel.**

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	TRATAMIENTOS	t-70	t-10	Volumen (m <sup>3</sup> )	Salinidad (‰)	Temperatura (°C)	Potencia (HP)	Cs20 (g/m3)	$K_{la_t}$ (h-1)	$K_{la_{20}}$ (h <sup>-1</sup> )	SOTR (Kg O <sub>2</sub> /h)	SAE (Kg O <sub>2</sub> /Kw/h)
3	Sistema de Paletas	22	3	50	0	19,4	2	8,17	3,47	3,52	1,44	0,96
4	Sistema Spalsh	19	2	50	0	18,7	2	8,34	3,88	4,00	1,67	1,12



**ANEXO D. Formulas para el cálculo del  $K_{lat}$ ,  $K_{la20}$ , SOTR y SAE, en hoja electrónica excel.**

	<b>B</b>	<b>J</b>	<b>K</b>	<b>L</b>	<b>M</b>
<b>2</b>	<b>TRATAMIENTOS</b>	<b><math>K_{la_t}</math> (<math>h^{-1}</math>)</b>	<b><math>K_{la_{20}}</math> (<math>h^{-1}</math>)</b>	<b>SOTR (<math>kg\ O_2/h</math>)</b>	<b>SAE (<math>kg\ O_2/kw/h</math>)</b>
<b>3</b>	Sistema de Paletas	$=1,1/((C3-D3)/60)$	$=J3*1,024^{(20-G3)}$	$=K3*E3*I3*0,001$	$=(L3/H3)*1,34$
<b>4</b>	Sistema Splash	$=1,1/((C4-D4)/60)$	$=J4*1,024^{(20-G4)}$	$=K4*E4*I4*0,001$	$=(L4/H4)*1,34$

\*Los valores C, D, E, G, H, I, J, K y L, están registrados en el Anexo C.

**ANEXO E. Valores de fotosíntesis líquida, bruta y respiración por medio de las botellas claras (BC) y oscuras (BO), para los tres tratamientos.**

TRATAMIENTO	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>		O <sub>2</sub>		Fotosíntesis líquida (mg/L)		Fotosíntesis bruta (mg/L)		Respiración en (BO) (mg/L)		Respiración en (BO) (mg/L)	
	Inicial 0:00 h	Superficie 6:00 h		Fondo 6:00 h		SUP.	FON.	SUP.	FON.	SUP.	FON.	SUP.	FON.
		BC	BO	BC	BO								
SPLASH	7,0	5,91	5,38	6,1	5,1	-1,09	-1,62	0,53	1	1,62	1,9	1,09	0,9
PALETAS	5,72	5,35	4,44	5,29	4,06	-0,37	-1,28	0,91	1,23	1,28	1,66	0,37	0,43
TESTIGO	5,8	6,06	7,36	6,40	4,0	0,26	1,56	-1,3	2,4	-1,56	1,8	-0,26	-0,6

Fuente: Esta investigación.

**ANEXO F. Valores de la respiración de la columna y de fondos de cada uno de los tratamientos con sistemas de aireación.**

	SISTEMA DE PALETAS	SISTEMA SPLASH
RESPIRACION COLUMNA	0,892	1,010
RESPIRACION FONDO	-0,010	0,057

Fuente: Esta investigación.

**ANEXO G. Calculo del número de aireadores para cada sistema con aireación en hoja electrónica excel.**

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
2	TRATAMIENTOS	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Temperatura (°C)	Salinidad (%)	CO	RC	RF	TOD (Kg O <sub>2</sub> /h)	SOTR (kg O <sub>2</sub> /h)	Cs	OTR <sub>20</sub> (kg O <sub>2</sub> /h)	OTR <sub>i</sub> (Kg O <sub>2</sub> /h)	Total
3	Sistemas de Paletas	400	604	19,40	0,00	0,19	0,89	-0,01	0,65	1,44	8,17	0,72	0,83	0,78
4	Sistemas Splash	400	604	18,70	0,00	0,19	1,01	0,05	0,76	1,67	8,34	0,84	0,82	0,93

**ANEXO H. Formulas para el cálculo del número de aireadores para cada sistema con aireación, en hoja electrónica excel.**

	B	J	K	L	M	N	O
2	TRATAMIENTOS	TOD (Kg O <sub>2</sub> /h)	SOTR (kg O <sub>2</sub> /h)	C <sub>s</sub>	OTR <sub>20</sub> (kg O <sub>2</sub> /h)	OTR <sub>t</sub> (Kg O <sub>2</sub> /h)	Total
3	Sistemas de Paletas	$=(G3+H3+I3)*D3*0,001$	1,44	8,17	$=(K3*(L3-4,08))/L3$	$=(M3*1,024)^(20-E3)$	$=J3/N3$
4	Sistemas Splash	$=(G4+H4+I4)*D4*0,001$	1,67	8,34	$=(K4*(L4-4,17))/L4$	$=(M4*1,024)^(20-E4)$	$=J4/N4$

\*Los valores C, D, E, G, H, I, J, K, L, M y N están registrados en el Anexo G

**ANEXO I. Registro de oxígeno disuelto (mg/l) en los tres tratamientos (testigo, paletas, splash) evaluados en la represa de Betania.**

Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3		
mañana	medio día	tarde	mañana	medio día	tarde	mañana	medio día	tarde
3,1	3,0	2,8	3,5	3,3	3,2	3,5	3,6	3,0
3,2	3,2	3,3	3,6	3,2	3,1	3,2	3,4	3,1
2,7	3,2	2,8	3,1	3,1	3,0	3,0	3,2	2,7
2,8	2,8	3,1	3,1	3,0	3,1	3,5	3,3	3,1
3,0	3,0	3,2	3,4	3,1	3,1	3,6	3,4	3,2
3,2	3,2	2,8	3,3	3,1	3,3	3,1	3,3	3,0
3,2	2,8	3,3	3,5	3,3	3,2	3,1	3,2	2,8
2,8	3,3	2,8	3,5	3,2	3,4	3,4	3,1	3,3
3,0	2,8	3,1	3,2	3,4	3,3	3,3	3,0	2,8
3,2	3,2	3,2	3,0	3,3	3,0	3,5	3,1	3,1
2,8	2,8	2,8	3,5	3,1	3,5	3,5	3,1	3,2
3,0	3,0	3,3	3,6	3,2	3,6	3,2	3,3	2,7
3,2	3,2	2,8	3,1	2,7	3,1	3,0	3,2	2,8
2,8	3,0	3,1	3,1	2,8	3,1	3,5	3,4	3,0
3,0	3,2	3,2	3,4	3,0	3,4	3,6	3,3	3,2
3,2	3,2	2,8	3,3	3,2	3,0	3,1	3,6	3,2
3,2	2,8	3,3	3,5	3,2	3,2	3,1	3,4	3,0
2,8	3,0	2,8	2,7	3,0	3,2	3,4	3,2	2,8
3,0	3,0	3,1	3,1	3,0	3,0	3,3	3,3	3,3
3,0	2,8	3,2	3,2	3,1	2,8	3,5	3,4	2,8
2,8	3,0	2,7	3,0	3,1	3,3	3,5	3,3	3,1
3,0	3,2	2,8	2,8	3,3	2,8	3,2	3,2	3,2
3,2	2,7	3,0	3,3	3,2	3,1	3,0	3,1	2,7
3,1	3,3	3,3	2,8	3,4	3,2	3,5	3,0	3,0
3,1	2,8	2,8	3,1	3,3	2,7	3,6	3,1	3,2
3,4	3,1	3,1	3,2	3,6	3,0	3,1	3,1	3,2
3,2	3,2	3,2	2,7	3,4	3,2	3,1	3,3	3,0
2,8	2,8	2,7	2,8	3,1	3,3	3,4	3,2	2,8
3,0	3,3	2,8	3,0	3,3	3,2	3,3	3,4	3,3
3,2	3,0	3,0	3,2	3,2	3,4	3,3	3,3	2,8

**ANEXO J. Registro de temperatura (°C), en los tres tratamientos (testigo, paletas, splash) evaluados en la represa de Betania.**

Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3		
mañana	medio día	tarde	mañana	medio día	tarde	mañana	medio día	tarde
24	24	23	23	23	24	22	24	24
24	21	25	25	25	23	21	22	22
23	23	24	24	27	23	23	23	22
24	23	24	23	24	22	25	25	23
24	24	23	23	24	24	27	27	25
28	28	24	22	24	24	24	24	24
27	27	24	24	24	24	24	24	23
24	24	25	24	25	24	24	24	23
24	25	24	24	24	23	24	25	22
24	23	24	24	25	23	25	25	24
23	28	25	23	24	23	24	27	24
24	27	24	23	25	23	25	26	24
24	24	24	23	25	23	24	24	24
28	25	23	24	27	25	25	24	23
27	24	24	23	26	24	24	23	23
24	24	24	24	24	25	23	23	23
25	23	25	24	24	24	24	23	23
24	24	27	23	23	25	24	25	23
28	24	24	24	23	24	23	24	23
27	28	24	24	23	23	24	24	24
24	27	24	28	25	24	24	24	24
24	24	23	27	24	24	28	26	24
24	25	24	24	24	23	27	28	24
23	27	24	25	24	24	24	24	24
24	23	28	25	25	24	25	25	24
24	28	27	27	25	24	23	25	24
28	27	24	27	27	24	27	26	23
27	24	25	24	26	24	25	24	25
24	24	23	24	24	25	23	23	23
25	24	23	25	24	26	23	24	25

**ANEXO K. Registro de pH, en los tres tratamientos (testigo, paletas, splash) evaluados en la represa de Betania.**

Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3		
mañana	medio día	tarde	mañana	medio día	tarde	mañana	medio día	tarde
7,1	7,0	7,0	6,9	7,1	7,1	7,0	7,1	7,1
7,0	7,1	7,1	7,1	7,0	7,1	7,0	7,0	7,1
7,0	7,0	7,0	7,1	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
7,0	7,0	7,0	7,0	7,1	7,0	6,9	7,0	7,0
6,9	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1	6,9	7,1
7,0	6,9	6,9	7,0	7,1	7,1	7,1	7,1	7,0
7,1	7,0	7,0	7,1	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1
7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,9	7,0
7,0	7,0	7,0,	7,0	7,0	6,9	7,1	7,1	7,0
7,0	7,0	7,0	7,0	7,1	7,1	7,0	7,1	7,1
6,9	7,0	7,1	7,0	7,0	7,1	7,1	7,0	7,0
7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1	7,0	7,0	7,0
7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
7,0	6,9	7,0	7,0	6,9	7,0	7,0	7,1	7,1
7,1	7,0	6,9	7,1	7,0	7,1	7,1	7,0	7,1
7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1	7,0	7,0	7,0
7,0	7,1	7,0	7,1	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
7,0	7,0	7,0	7,1	7,0	7,1	6,9	7,0	7,1
7,1	7,0	7,0	7,0	7,1	7,0	7,1	7,0	7,0
7,0	7,0	7,1	7,0	7,1	7,1	7,1	7,0	7,0
7,0	6,9	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1	6,9
7,0	7,0	7,0	7,1	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1
7,0	7,0	6,9	7,0	7,1	7,1	7,0	7,0	7,0
7,1	7,1	7,0	7,0	7,0	7,1	6,9	7,0	7,0
7,0	7,0	7,0	6,9	7,0	7,1	7,1	6,9	7,0
7,0	7,0	7,0	7,1	7,1	7,0	7,0	7,1	7,0
7,0	7,0	7,1	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1	7,0
6,9	7,1	7,0	7,1	7,1	7,1	7,0	7,1	7,1
7,0	7,0	7,1	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1	7,1



**ANEXO L. Registro de amonio (mg/l), en los tres tratamientos (testigo, paletas, splash) evaluados en la represa de Betania.**

Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3		
medio			medio			medio		
mañana	día	tarde	mañana	día	tarde	mañana	día	tarde
0,041	0,042	0,041	0,039	0,041	0,041	0,039	0,040	0,041
0,042	0,042	0,042	0,039	0,039	0,040	0,041	0,041	0,039
0,040	0,043	0,043	0,038	0,039	0,039	0,039	0,039	0,038
0,039	0,040	0,041	0,040	0,041	0,041	0,039	0,039	0,041
0,041	0,041	0,040	0,040	0,042	0,039	0,040	0,038	0,040
0,041	0,041	0,041	0,039	0,042	0,038	0,039	0,039	0,041
0,039	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,038	0,042
0,038	0,042	0,041	0,040	0,041	0,040	0,040	0,042	0,041
0,041	0,043	0,040	0,039	0,041	0,041	0,039	0,041	0,042
0,042	0,041	0,043	0,038	0,040	0,042	0,041	0,039	0,041
0,040	0,040	0,040	0,038	0,039	0,041	0,041	0,038	0,038
0,039	0,041	0,041	0,041	0,041	0,039	0,040	0,041	0,041
0,038	0,040	0,041	0,040	0,040	0,039	0,038	0,040	0,040
0,039	0,041	0,041	0,039	0,041	0,038	0,040	0,039	0,039
0,037	0,041	0,041	0,037	0,039	0,041	0,039	0,041	0,041
0,040	0,042	0,041	0,038	0,039	0,040	0,038	0,038	0,041
0,041	0,042	0,042	0,040	0,040	0,039	0,040	0,041	0,040
0,042	0,041	0,043	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,038
0,041	0,040	0,041	0,041	0,039	0,040	0,040	0,040	0,041
0,039	0,041	0,042	0,040	0,039	0,041	0,040	0,041	0,041
0,041	0,042	0,042	0,038	0,038	0,039	0,039	0,039	0,041
0,041	0,041	0,041	0,038	0,041	0,041	0,041	0,042	0,040
0,042	0,042	0,041	0,038	0,041	0,041	0,040	0,042	0,041
0,039	0,041	0,041	0,040	0,040	0,041	0,038	0,042	0,040
0,039	0,040	0,041	0,039	0,039	0,040	0,040	0,041	0,041
0,041	0,040	0,042	0,041	0,038	0,039	0,041	0,039	0,042
0,042	0,041	0,041	0,039	0,042	0,041	0,041	0,039	0,041
0,039	0,040	0,041	0,039	0,042	0,040	0,040	0,040	0,039
0,039	0,041	0,040	0,037	0,041	0,041	0,039	0,041	0,039
0,038	0,042	0,041	0,040	0,039	0,042	0,037	0,039	0,041

**ANEXO M. Registro de dureza (mg/l), en los tres tratamientos (testigo, paletas, splash) evaluado en la represa de Betania.**

Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3		
mañana	medio día	tarde	mañana	medio día	tarde	mañana	medio día	tarde
100	100	100	105	105	100	103	102	104
104	104	104	105	102	105	104	105	105
105	105	105	100	102	105	105	105	102
104	104	104	105	104	104	105	100	104
105	100	105	105	105	105	105	105	105
105	104	100	104	104	105	105	105	105
105	105	104	105	105	104	105	104	105
104	104	105	105	104	104	105	105	105
100	105	104	104	105	104	102	105	105
104	105	105	104	104	104	102	104	102
105	105	105	104	105	100	104	104	104
104	100	105	105	105	102	105	104	105
105	104	100	105	105	103	104	104	105
100	105	104	105	105	104	105	100	102
100	104	105	105	104	105	102	102	102
104	105	104	105	105	105	102	103	104
105	100	100	102	105	102	104	104	105
104	104	104	104	104	102	105	105	105
105	105	105	105	104	104	104	105	104
100	104	104	105	104	105	105	105	104
104	100	105	102	104	104	104	105	102
105	104	105	102	100	105	105	105	102
104	105	100	104	104	102	104	105	105
105	104	104	102	105	102	105	105	105
100	100	105	102	104	104	105	105	102
104	104	104	105	105	105	105	105	102
105	105	105	105	105	102	104	104	105
104	104	105	102	105	102	105	102	105
105	105	100	102	105	104	105	104	102
105	105	104	105	105	105	104	105	104

## ANEXO N. Análisis de varianza para la variable Oxígeno.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Fc	Ft
Regresión	3	1,74340922	0,58113641	13,08750243	5,3522E-08 *
Residuos	266	11,8114426	0,04440392		
Total	269	13,5548519			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	2,90365262	0,05162722	56,2426734	1,0826E-149	2,80200264	3,00530259
BLOQUE	0,04277778	0,01570632	2,72360309	0,006884896*	0,01185326	0,0737023
TRATAMIENTO	0,08611111	0,01570632	5,48257765	9,73842E-08*	0,05518659	0,11703563
REPLICA	-0,0019799	0,00148163	-1,3363516	0,182576353	-0,0048971	0,00093724

\* Fc > Ft (es significativo)

\*Probabilidad < 0.05 (existen diferencias significativas entre tratamientos y bloques).

### Prueba de Tukey.

Contraste Múltiple de Rango para oxígeno según tratamiento

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Tratamiento Frec. Media Grupos homogéneos

1	90	3,02333	X
2	90	3,17333	X
3	90	3,19556	X

Contraste Diferencias +/- Límites

2 - 3	0,0222222	0,0746194
1 - 3	*0,172222	0,0746194
2 - 1	*0,15	0,0746194

\* indica una diferencia significativa.

## ANEXO Ñ. Análisis de varianza para la variable Temperatura.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	Fc	Ft
Regresión	3	41,8159313	13,9386438	7,394615295	8,9178E-05 *
Residuos	266	501,402587	1,88497213		
Total	269	543,218519			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	21,3890166	0,33637252	63,587288	6,8455E-163	20,7267252	22,051308
BLOQUE	0,07777778	0,10233312	0,76004502	0,447900783	-0,1237081	0,27926374
TRATAMIENTO	-0,3333333	0,10233312	-3,2573357	0,001270697*	-0,5348192	-0,1318473
REPLICA	0,03201088	0,00965342	3,31601282	0,001040219*	0,01300404	0,05101772

\* Fc > Ft (es significativo)

\*Probabilidad < 0.05 (existen diferencias significativas entre tratamientos y replicas).

### Prueba de Tukey.

Contraste Múltiple de Rango para temperatura según tratamiento

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Tratamiento Frec. Media Grupos homogéneos

3	90	24,1333	X
2	90	24,1889	X
1	90	24,8	X

Contraste Diferencias +/- Límites

2 - 3	-0,0555556	0,491045
1 - 3	*-0,666667	0,491045
1 - 2	*-0,611111	0,491045

\* indica una diferencia significativa.

## ANEXO O. Análisis de varianza para la variable pH.

### Análisis de la Varianza para pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo	0,834259	265	0,00314815	3,40	0,1183
Residuos	0,0037037	4	0,000925926		
Total (Corr.)	0,837963	269			

### Sumas de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
Bloque	0,00762963	2	0,00381481	4,12	0,1068
Tratamiento	0,0316296	2	0,0158148	17,08	0,0110
Muestra (B*T	0,795	261	0,00304598	3,29	0,1248
Residuos	0,0037037	4	0,000925926		
Total (corregido)	0,837963	269			

\*  $F_c > F_t$  (es significativo)

\*Probabilidad < 0,05 (existen diferencias significativas entre tratamientos).

## PRUEBA DE TUKEY

### Comparaciones múltiples para pH según Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamiento	Recuento	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
1	90	7,00556	0,0032075	X
3	90	7,02444	0,0032075	X
2	90	7,03111	0,0032075	X

Contraste	Diferencia	+/- Limites
1 - 2	*-0,0255556	0,0161638
1 - 3	*-0,0188889	0,0161638
2 - 3	0,0066667	0,0161638

\* denota una diferencia estadísticamente significativa.

**ANEXO P. Análisis de varianza para la variable amonio.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo	0,000149781	265	5,65213E-7	3,82	0,0979
Residuos	5,92593E-7	4	1,48148E-7		

Total (Corr.)      0,000150374      269

Sumas de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
Bloque	6,74074E-7	2	3,37037E-7	2,28	0,2189
Tratamiento	7,40741E-9	2	3,7037E-9	0,03	0,9755
Muestra (Bloque*Tratamiento)	0,0001491	261	5,71264E-7	3,86	0,0962
Residuos	5,92593E-7	4	1,48148E-7		

Total (corregido)      0,000150374      269

P-Valor > 0,05 (No existen diferencias significativas entre tratamientos)

**ANEXO Q. Análisis de varianza para la variable dureza.**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	3	11,5538454	3,85128179	0,154285731	0,17727088 *
Residuos	266	619,264821	2,32806324		
Total	269	630,818667			

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	103,596858	0,3738225	277,128474	0	102,860831	104,332886
BLOQUE	0,11944444	0,11372636	1,05027934	0,294542954	-0,3433628	0,10447392
TRATAMIENTO	0,21722222	0,11372636	1,91004289	0,05720309**	0,00669614	0,44114058
REPLICA	0,00493388	0,01072819	0,45989856	0,64596471	0,01618909	0,02605684

\*\* Fc < Ft (no significativo)

\*\* Probabilidad > 0,05 (no existen diferencias entre tratamientos).

**ANEXO R. Análisis de Varianza para incremento de peso (IP), según Tratamiento**

Análisis de la Varianza

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	22361,8	2	11180,9	817,69	0,0000
Intra grupos	4881,52	357	13,6737		
Total (Corr.)	27243,3	359			

TUKEY

Contraste Múltiple de Rango para IP según Tratamiento

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Tratamiento	Frec.	Media	Grupos homogéneos
1	120	75,4	X
2	120	108,9583	X
3	120	121,275	X

Contraste	Diferencias	+/- Límites
1 - 2	*-16,5583	1,12351
1 - 3	*-16,875	1,12351
2 - 3	-0,316667	1,12351

\* indica una diferencia significativa.



**ANEXO S. Análisis de la Varianza para conversión alimenticia (CA), según tratamiento.**

Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	0,000622222	2	0,000311111	0,25	0,7865
Intra grupos	0,00746667	6	0,00124444		
-					
Total (Corr.)	0,00808889	8			

Tabla de Medias para CA según Tratamiento  
con 95,0 intervalos LSD

Tratamiento	Frec.	Error Estándar		Límite inf.	Límite sup.
		Media	(s agrupada)		
1	3	1,26	0,020367	1,23476	1,30524
2	3	1,27333	0,020367	1,22809	1,29857
3	3	1,23	0,020367	1,21476	1,28524
Total	9	1,26111			

P-Valor > 0,05 (No existen diferencias significativas entre tratamientos)

**ANEXO T. Prueba de Brand Snedecor para variable mortalidad.**

Respuesta	TRATAMIENTOS			Total
	T1	T2	T3	
Éxito	79.340,00	79.357,00	79.420,00	<b>238.117,00</b>
Fracaso	660,00	643,00	580,00	<b>1.883,00</b>
<b>Total</b>	<b>80.000,00</b>	<b>80.000,00</b>	<b>80.000,00</b>	<b>240.000,00</b>

Pi	<b>0,992</b>	<b>0,992</b>	<b>0,993</b>	<b>0,992</b>
Pi*a <sub>i</sub>	<b>78.685,445</b>	<b>78.719,168</b>	<b>78.844,205</b>	<b>236.248,774</b>

n =	3
n - 1 =	2
Alfa =	0,05
1 - alfa =	0,95
p =	0,992
q =	0,008

$$\chi^2_c = \frac{[\sum a_i \cdot p_i] - [p \cdot \sum a_i]}{pq}$$

$$\chi^2_c = 5,705$$

$$\chi^2_{t(1-alfa)} = 5,99$$

\*Donde si  $\chi^2_c \leq \chi^2_{t(1-alfa)}$  se acepta la hipótesis Ho, es decir que no hay diferencias estadísticas entre los tratamientos con una confiabilidad del 95%