

**VALIDACIÓN DE LAS TASAS DE CRECIMIENTO DE TRUCHA ARCO IRIS
CRIADAS EN ESTANQUES MULTIPRO**

ANNY CATALINA PARRA PERDOMO
JEFFREY ALEXANDER YANZA LÓPEZ

Director:

Ing. Javier Ernesto Fernández Mera, Ph.D.



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2015**

**VALIDACIÓN DE LAS TASAS DE CRECIMIENTO DE TRUCHA ARCO IRIS
CRIADAS EN ESTANQUES MULTIPRO**

ANNY CATALINA PARRA PERDOMO
JEFFREY ALEXANDER YANZA LÓPEZ

Proyecto de grado para aspirar al título de Ingeniero Ambiental

Director:

Ing. Javier Ernesto Fernández Mera, Ph.D.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2015**

Nota de aceptación

Firma del presidente de Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Popayán, Septiembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por ser luz en el camino; a nuestras familias por su respaldo a lo largo de toda la carrera, a nuestro director, Ph D. Javier Fernández por confiar en nuestro trabajo además de su apoyo para la consecución del mismo; al profesor Edwin Rengifo por su asesoría cordial, a Leider y su familia por su cálido recibimiento durante los días de trabajo en la estación piscícola; a Alejandra y Sandra por su acompañamiento más allá de la labor académica y en general a todos nuestros amigos que de una u otra manera nos brindaron su apoyo.

Al Cabildo Indígena del Pueblo Ancestral de Ambaló por facilitar la Estación Piscícola “Ampiú” en Silvia Cauca, durante la fase experimental, al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la Universidad del Cauca por la financiación la cual se obtuvo a través de los proyectos de investigación: “ESTUDIO, DISEÑO Y EVALUACION DE UN PROTOTIPO DE ESTANQUE PISCICOLA” y “VALIDACIÓN DE UN PAQUETE TECNOLÓGICO PARA LA PRODUCCIÓN DE TRUCHA AMBIENTALMENTE SOSTENIBLE”, presentado en el marco de la Convocatoria Proyectos Universidad-Empresa-Estado-Sociedad para el desarrollo de productos innovadores en el núcleo de innovación de la Cadena Piscícola.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 3 |
| 2. JUSTIFICACIÓN | 5 |
| 3. OBJETIVOS..... | 7 |
| 3.1 GENERAL | 7 |
| 3.2 ESPECÍFICOS | 7 |
| 4. MARCO TEÓRICO..... | 8 |
| 4.1 PANORAMA GLOBAL Y NACIONAL | 8 |
| 4.2 FACTORES QUE INCIDEN EN EL CRECIEMIENTO DEL PEZ | 9 |
| 4.2.1 Oxígeno disuelto | 9 |
| 4.2.2 pH | 10 |
| 4.2.3 Temperatura..... | 10 |
| 4.2.4 Caudal de agua | 12 |
| 4.2.5 Densidad de peces..... | 13 |
| 4.3 CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO A CAUSA DE LA PRODUCCIÓN DE TRUCHA ARCO IRIS | 14 |
| 4.4ESTANQUE MULTIPRO | 15 |
| 4.5 ESTUDIOS COMPARATIVOS DE BIOMETRIA REPORTADOS POR LA LITERATURA SOBRE ESTANQUES MULTIPRO..... | 17 |
| 4.6 SISTEMAS CON RECIRCULACIÓN DE AGUA | 18 |
| 5. METODOLOGÍA | 19 |
| 5.1 ZONA DE ESTUDIO..... | 19 |
| 5.2 CONDICIONES DE LA PISCÍCOLA | 19 |

| | |
|---|----|
| 5.3 DESARROLLO DE OBJETIVOS | 20 |
| 6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 26 |
| 6.1 TASAS DE CRECIMIENTO PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE PEZ..... | 26 |
| 6.2 TIEMPO DE PRODUCCIÓN..... | 34 |
| 6.3 IMPACTO DE LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA SOBRE EL OXÍGENO DISUELTO | 36 |
| 6.4 DISCUSIÓN A PARTIR DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE OXÍGENO DISUELTO AFLUENTE Y EFLUENTE POR ESTANQUES..... | 38 |
| 6.5 DISCUSIÓN A PARTIR DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL EFECTO DE LA CAÍDA HIDRÁULICA PRESENTE EN LOS ESTANQUES | 40 |
| CONCLUSIONES | 42 |
| RECOMENDACIONES..... | 44 |
| REFERENCIAS | 46 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Influencia de la temperatura del agua en el crecimiento de la trucha arco iris (Merino 2005, citado por Maíz et al., 2010). | 11 |
| Tabla 2. Algunas propiedades fisicoquímicas para la producción truchícola (Camacho et al, 2000). | 11 |
| Tabla 3. Características de estanques MULTIPRO seleccionados para su estudio | 21 |
| Tabla 4. Peso promedio por estanque durante el periodo de muestreo | 26 |
| Tabla 5. Tasa de crecimiento para los rangos estipulados desde 6,5 a 330g. | 29 |
| Tabla 6. Parámetros de calidad del agua y caudal por sitio de muestreo..... | 31 |
| Tabla 7. Tasas de crecimiento y tiempo necesario de producción. | 35 |
| Tabla 8. Caudales teóricos por estanques calculados según metodología de Blanco (1995). | 36 |
| Tabla 9. Resumen de resultados de pruebas estadísticas por comparaciones. | 38 |

TABLAS DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Cortes en planta, frontal y lateral del estanque MULTIPRO, tomado de (Fernández, 2014). | 17 |
| Figura 2. Descripción de la piscícola por diferentes tipos de estanques y canales de distribución de flujo. | 20 |
| Figura 3. Descripción de los 5 estanques elegidos para medición de parámetros fisicoquímicos y caudal..... | 22 |
| Figura 4. Puntos de muestreo de O.D y temperatura | 25 |
| Figura 5. Incremento de peso en los peces a través del tiempo desde 6,5 - 70 g. | 28 |
| Figura 6. Incremento de peso en los peces a través del tiempo desde 71-330 g. | 28 |

TABLA DE ANEXOS

ANEXO A: DATOS MEDIDOS EN CAMPO

| | |
|--|----|
| Tabla A. 1. Peso promedio por biometría realizada | 54 |
| Tabla A. 2. Caudales medidos | 55 |
| Tabla A. 3. Biomasa y densidad para rango de peso de 6,5 a 16 g | 56 |
| Tabla A. 4. Biomasa y densidad para rango de peso de 17 a 50 g | 56 |
| Tabla A. 5. Biomasa y densidad para rango de peso de 51 a 70 g | 57 |
| Tabla A. 6. Biomasa y densidad para rango de peso de 71 a 100 g | 57 |
| Tabla A. 7. Biomasa y densidad para rango de peso de 71 a 190 g | 58 |
| Tabla A. 8. Biomasa y densidad para rango de peso de 191 a 330 g | 58 |
| Tabla A. 9. Biomasa y densidad para rango de peso de 331 a 480 g | 58 |

ANEXO B: PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

Anexo B.1. Oxígeno disuelto medido en cinco puntos escogidos de los estanques

| | |
|--|----|
| Tabla B 1. 1 Oxígeno disuelto medido en los estanques T1 y T2 | 59 |
| Tabla B 1. 2. Oxígeno disuelto medido en los estanques T3, T4 y T5 | 60 |

Anexo B.2. Temperatura medida en cinco puntos escogidos de los estanques T1, T2, T3, T4 y T5

| | |
|---|----|
| Tabla B 2. 1. Temperatura medida en los estanques T1 y T2 | 61 |
| Tabla B 2. 2. Temperatura medida en los estanques T3, T4 y T5 | 62 |

Anexo B.3. Oxígeno de saturación medido en cinco puntos escogidos de los estanques T1, T2, T3, T4 yT5.

Tabla B 3. 1.Oxígeno de saturación medido en los estanques T1 y T263
Tabla B 3. 2. Oxígeno de saturación medido en los estanques T3, T4 y T564

ANEXO B.4. pH medido en cinco puntos escogidos de los estanques T1, T2, T3, T4 yT5.

Tabla B 4. 1pH medido en los estanques T1 y T265
Tabla B 4. 2.pH medido en los estanques T3, T4 y T566

ANEXO C: CÁLCULOS

Tabla C 1. 1 Caudal teórico68
Tabla C 1. 2. Prueba estadística no paramétrica de Friedman68

INTRODUCCIÓN

La producción pesquera mundial ha aumentado de forma constante en las últimas cinco décadas y el suministro de peces comestibles se ha incrementado a una tasa media anual del 3,2%, superando así la tasa de crecimiento de la población mundial del 1,6 %. El consumo aparente mundial de pescado per cápita aumentó de un promedio de 9,9 kg en el decenio de 1960 a 19,2 kg en 2012 (FAO, 2014).

En Colombia, la pesca y la acuicultura son actividades productivas del sector agropecuario que presentan mayor viabilidad de crecimiento económico, generación de empleo y divisas, considerando, de una parte, la real potencialidad productiva de los mares y cuencas hidrográficas continentales, y de otra, la magnitud y disponibilidad de zonas y aguas para el desarrollo de la acuicultura (IICA *et al.*, 2011). Según la FAO, 2014, nunca antes se ha dependido tanto de éste sector para alcanzar una situación de bienestar alimentario. El Programa Especial de Seguridad Alimentaria (PESA) busca asegurar la alimentación del país que lo requiera, planteando que se debe tener en cuenta tecnologías viables, las cuales al ser aplicadas correctamente se logre mitigar y alcanzar una solución a dicha problemática (Gordillo de Anda, 2004). Es así como nace la tecnología Multipropósito (MULTIPRO) que mediante el uso de un nuevo prototipo de estanque piscícola, se encamina hacia la producción más limpia de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y que hasta el momento ha dado buenos resultados a escala piloto en términos de: Control de contaminantes, disminución de la cantidad de recurso hídrico necesario y menor tiempo de producción si se compara con las tecnologías tradicionales.

El presente trabajo busca contribuir a la validación de los resultados obtenidos a escala piloto mediante la evaluación de tasas de crecimiento de peces cultivados en la piscícola de Ambaló, la cual implementa la tecnología MULTIPRO en la totalidad de sus estanques.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la FAO (2014), actualmente existen unas 2.000 millones de personas que carecen de una alimentación adecuada y suficiente que satisfaga los mínimos requerimientos proteicos para una buena salud. Lo anterior supone un panorama futuro preocupante debido a que se espera que la población mundial aumente en otros 2000 millones para el 2050, lo cual representa un verdadero desafío para las tecnologías productivas, no sólo en términos de seguridad alimentaria, sino también en la disminución de los impactos ambientales de los diferentes procesos para la protección de los recursos naturales.

La actividad pesquera destina el 77% de su producción para el consumo humano, cifra que constituye un incremento considerable en los últimos decenios (FAO, 2001). En Colombia la producción acuícola, entre el año 1995 y el 2007 aumentó en 118%, al pasar de 30.514 t en 1995 a 66.567 t en el 2007, con un crecimiento promedio anual de 8,66% (CCI, 2009). Particularmente la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), hoy en día, ocupa el cuarto renglón en importancia en la acuicultura comercial con una producción del 11,83% (CCI, 2009).

Se ha evidenciado por medio de diferentes estudios realizados a nivel mundial que los efluentes piscícolas tienen un impacto negativo sobre los cuerpos de agua, entre otras cosas, por la acumulación de materia orgánica sobre los fondos y nutrientes como fósforo y nitrógeno; todo esto procedente de las excretas, materia orgánica muerta y la fracción de alimento no consumido por los peces (Buschmann, 2001). En la producción de trucha dos tipos de efluente se generan, uno caracterizado por tener altos flujos de agua con bajas concentraciones contaminantes y el otro, de lavado, bajos flujos de agua y altas concentraciones contaminantes a raíz del material sedimentado (Fernández, 2014) . Es precisamente la extracción de dicho lodo una de las limitaciones identificadas en los sistemas tradicionales para el cultivo de trucha, lo que impide el mejoramiento

de la calidad del agua de los estanques y como consecuencia un tiempo de crecimiento del pez más retardado.

La producción de ésta especie presenta grandes exigencias en cuanto a la calidad y cantidad del recurso hídrico. Altas concentraciones de oxígeno disuelto (O.D) (8,0 mg/L), temperaturas entre 12 y 16 °C, rango óptimo de pH entre 6,5-9,0, sólidos suspendidos menores a 80 mg/L, nitrógeno amoniacal menor de 0,4 mg/L (Camacho *et al.*, 2000; Blanco, 1995). La calidad de agua puede verse alterada por el metabolismo de los mismos peces que habitan en el estanque o por la degradación de la materia orgánica allí presente; por ejemplo, concentraciones de amoníaco de 1,5; 5,6; 33,3 mg/L, en valores de pH de 10; 9,8 y 7,5 respectivamente, pueden ocasionar daños en las branquias, retardo en el crecimiento, o inclusive la muerte de los mismos (Romero, 2011).

Según el INCODER (2005), el proceso de producción comienza con el engorde cuando los alevines tienen entre 7 y 9 cm y finaliza cuando alcanzan la talla comercial, con pesos entre los 200-500 g. Para esto se estima un tiempo de cosecha que va desde los 7 hasta los 15 meses dependiendo de la calidad de la semilla, la densidad de siembra, la alimentación, pero principalmente, de las condiciones fisicoquímicas a las cuales se vean enfrentados los peces. Por todo lo anterior, es un hecho deseable para los cultivadores de trucha contar con tecnologías que susciten buenos resultados en términos de mejoramiento de la calidad del agua de los estanques, aumento de biomasa animal, remoción de lodos con facilidad para su posterior tratamiento y por consecuencia un tiempo de producción más rápido, con mayores ganancias económicas.

2. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la FAO (2001), el total del suministro alimentario que aporta la pesca en peso vivo se estima un poco superior a los 16 kilogramos al año por persona mundialmente, observando así que su importancia en la seguridad alimentaria aumenta considerablemente. Cabe resaltar que el pescado se caracteriza por ser una fuente importante de nutrientes, principalmente proteínas de alto valor biológico y grasa del tipo poliinsaturado; contiene además, minerales y vitaminas (Martínez *et al.*, 2005).

En la tecnología MULTIPRO, la purga constante de los lodos producidos en la cría de truchas ha significado una mejora en la producción del cultivo, puesto que la menor permanencia del lodo dentro del estanque crea menos condiciones para que los procesos de disolución y degradación de la materia orgánica ocurran (Hoyos, 2011), disminuyendo la probabilidad de enfermedades, muerte y condiciones de estrés a causa de éstos procesos. Además los resultados indican que en el estanque MULTIPRO tomarían 95 días los peces para alcanzar un peso promedio de 300 g, iniciando con un peso de 110 g, mientras que en el estanque convencional este tiempo sería de 128,6 días, lo cual generaría una diferencia de 33,6 días, que equivale a un 26,2% menos de tiempo para la producción en el Estanque MULTIPRO con respecto al estanque convencional (Fernández *et al.*, sf), reduciendo costos de producción, a parte del tiempo de permanencia de peces en la piscícola, obteniéndose una mayor producción.

Por tal motivo se hace necesaria la validación de las tasas de crecimiento de trucha arco iris cultivadas en estanques MULTIPRO en la piscícola de Ambaló para así corroborar la información recolectada y procesada durante el estudio

piloto previamente realizado, y de esta manera continuar con la consolidación, sistematización y transferencia de la tecnología.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Contribuir a la validación de la tecnología de estanques MULTIPRO mediante la evaluación de las tasas de crecimiento de sus peces.

3.2 ESPECÍFICOS

- Determinar las tasas de crecimiento para diferentes tamaños de pez en los estanques MULTIPRO.
- Estimar el tiempo de producción de trucha arco iris en los estanques MULTIPRO.
- Estimar el impacto de la reutilización del agua sobre el Oxígeno Disuelto.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 PANORAMA GLOBAL Y NACIONAL

Históricamente se cree que la acuicultura inició hace milenios (entre 2000-1000 A.C.) como una forma de producción animal en China (carpas) y Egipto (tilapia). En Europa, aproximadamente en el siglo XV se dio origen a la crianza temprana de peces, principalmente carpas y truchas (Prada, 2010). En tiempos modernos, la acuicultura tiene un campo importante en el contexto mundial como una actividad comercial. Según el último informe de la FAO (2014) sobre “El estado mundial de la pesca y la acuicultura”, la producción pesquera mundial ha aumentado de forma constante en las últimas cinco décadas y el suministro de peces comestibles se ha incrementado a una tasa media anual del 3,2 %, superando así la tasa de crecimiento de la población mundial del 1,6 %. Prada (2010), afirma que la acuicultura se ha convertido en el único medio para seguir aumentando la oferta mundial de pescados y mariscos debido a que en los últimos 58 años es la responsable de 41% del aumento total observado en la oferta de productos pesqueros, con el 85,7% del aumento de la oferta en los últimos 20 años, y con el 100% del aumento de la oferta durante la última década.

En el ámbito nacional, sólo hasta la década de los 80 se iniciaron procesos encaminados a formar empresas acuícolas, primero en el cultivo de camarón (*Pennaeus vanamei*) y un poco más adelante con la piscicultura comercial con especies foráneas como son la carpa (*Cyprinus carpio*), tilapias roja y plateada (*Oreochromis niloticus* y *Oreochromis spp*), trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), y sólo una nativa, la cachama (*Colossoma macropomum*). En términos de tasas de crecimiento, la tendencia de la acuicultura en el periodo 1985-2012 es muy positiva, 20,44% anual promedio al pasar de 572 toneladas en 1985 a cerca de 89.509 en 2012 lo que supera por mucho la tasa media del crecimiento del

resto del sector agropecuario y del conjunto total de la economía nacional (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural., 2014).

4.2 FACTORES QUE INCIDEN EN EL CRECIEMIENTO DEL PEZ

La trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) es un pez de agua dulce y de mar, distribuido de forma nativa por el norte del océano Pacífico, aunque de forma artificial ha sido introducida por el hombre en diversos lugares del mundo. Pertenece a la familia de salmónidos y como tal es un animal que para su supervivencia requiere un hábitat con condiciones muy específicas.

A nivel de la industria acuícola, la optimización de las tasas de crecimiento y la composición corporal son temas importantes, por ello maximizar el crecimiento y reducir al mínimo los costos son metas deseables en la producción comercial y en general es claro que debe tenerse el mayor control posible sobre las variables que influyen directamente en el adecuado desarrollo del pez.

Los requerimientos ambientales de la trucha arco iris se presenta a continuación.

4.2.1 Oxígeno disuelto (O.D)

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

Según Bernabé (1991), las ovas y alevinos requieren una concentración de oxígeno disuelto entre 6 y 7 mg/L. En la etapa de crecimiento la concentración mínima de oxígeno es de 5,5 mg/L, este oxígeno es llamado residual. Por su parte Camacho *et al.* (2000) y Blanco (1995), establecen como óptimo un nivel de oxígeno disuelto superior a 8,0 mg/L (lo cual demanda grandes cantidades de agua).

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

4.2.2 pH

Conocer los valores de pH o potencial de hidrógeno es de gran importancia, debido a que estos tienen efectos en el nivel de estrés de las truchas (De la Oliva, 2011).

En general el rango adecuado de potencial de hidrógeno se encuentra entre 6,5-9,0 (Camacho *et al.* 2000; y Blanco, 1995)

4.2.3 Temperatura

La temperatura incide directamente en los procesos fisiológicos, tales como la respiración, alimentación y asimilación, crecimiento, comportamiento y reproducción (Sandoval, 2013), por tal motivo, se considera óptima alrededor de 15 °C, teniendo en cuenta que es un animal adaptable a temperaturas más frías o más altas. Estas últimas, de no más de alrededor de 20°C, debido a que al tratarse de peces de temperaturas, principalmente frías, no favorecen su crecimiento, por efecto del gasto energético que deben realizar los animales frente a su defensa de las mismas (batiendo exageradamente sus branquias en búsqueda de mayor oxígeno) (Panné y Luchini, 2012). Según Blanco (1995), en los límites industriales, entre los cuales el crecimiento y desarrollo es mejor corresponde a 9 °C como límite inferior y 17°C como límite superior; considerando para la temperatura más adecuada para la producción cárnica de 15 °C , siendo esta donde las funciones fisiológicas se llevan a cabo de forma óptima.

En la tabla 1 se aprecian diferencias ante pequeños cambios de temperatura.

Tabla 1. Influencia de la temperatura del agua en el crecimiento de la trucha arco iris (Merino 2005, citado por Maíz et al., 2010).

| Temperatura agua | Peso inicial | Peso de las truchas (g) en relación con el tiempo | | | | | | |
|---------------------|-----------------|---|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 |
| °C | g | | | | | | | |
| 11 | 4,6 | 8,3 | 19,5 | 34,2 | 62,0 | 92,2 | 139,8 | 199,4 |
| 13 | 4,6 | 11,5 | 25,4 | 47,6 | 87,0 | 130,4 | 192,0 | 294,1 |
| 15 | 4,6 | 14,0 | 33,0 | 58,0 | 100,0 | 159,0 | 237,0 | 338,0 |

Algunas otras propiedades físicas y químicas requeridas en el agua para el cultivo de la trucha se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Algunas propiedades fisicoquímicas para la producción truchícola (Camacho et al, 2000).

| Parámetro | Concentración |
|---------------------|---|
| Dióxido de carbono | Menor a 2 mg/l |
| Calcio | Mayor a 52 mg/l |
| Zinc | Menor a 0,04 mg/L a pH de 7,6 |
| Amonio | Menor a 0,012 mg/L como NH ₃ |
| Nitrito | Menor a 0,55 mg/L |
| Nitrógeno | Menor a 110 % de saturación total |
| Sólidos suspendidos | Menor a 80 mg/L |
| Sólidos disueltos | Menor a 400 mg/L |
| Ácido sulfhídrico | Menor a 0,002 mg/L |

4.2.4 Caudal de agua

Los Salmónidos en general, son peces muy exigentes con respecto a las aguas donde viven, prefiriendo aquellas de cursos rápidos, con altos contenidos de oxígeno y temperaturas frías (Panné y Luchini, 2012).

Los requerimientos de caudal de agua de un estanque, o de una instalación, dependen, además de los parámetros ambientales, de la carga de peces, así ocurre que en los sistemas extensivos el aporte de agua es mínimo, y muchas veces únicamente para reponer el agua perdida por infiltración y evaporación, mientras que los sistemas intensivos requieren recambios de agua del orden de 1 -2 renovaciones por hora (Palacio, 2010). Como el caudal de agua superficial no será constante durante todo el año, el cálculo de éste debe realizarse para asegurar un óptimo aporte de oxígeno para la respiración de los peces y una adecuada eliminación del amoníaco excretado y de los restos sólidos. Los caudales se calculan en el momento más desfavorable, es decir cuando la biomasa de peces en la instalación sea máxima y para los meses de verano (Jover *et al.*, 2003)

Stevenson (1985, citado por Fernández, 2014) reporta que para cultivos intensivos se requiere de 500 a 650 m³ diarios por tonelada de producción a una temperatura de 15°C y Cripps y Bergheim (2000, citado por Fernández, 2014) reportan flujos de 1440 a 2800m³ por día por tonelada producida, lo cual confirma el hecho de que se necesitan grandes flujos de agua en cultivos comerciales. A continuación se presenta la ecuación propuesta por Blanco (1995) (Ecuación 1) para determinar el caudal necesario considerando la concentración de oxígeno del agua a la entrada y la deseada a la salida del estanque, el consumo específico del pez acorde con el tamaño y la temperatura del agua y la cantidad de biomasa del estanque.

$$Caudal \left(\frac{l}{s} \right) = \frac{Biomasa (kg) * Consumo de Oxígeno del pez \left(\frac{mg}{Kg * h} \right)}{3600s * Oxígeno disponible \left(\frac{mg}{L} \right)} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

Biomasa= Peso promedio individual Trucha (kg) * N° de truchas en el estanque.

Consumo de Oxígeno del pez= Anexo C, Figura C.1 (tomado de Blanco 1995).

Oxígeno disponible= (Oxígeno entrada – Oxígeno residual) mg/L.

4.2.5 Densidad de peces

La densidad de truchas constituye el número y peso de los peces por unidad de volumen, por estanque y por unidad de área del ambiente acuático. Al respecto se ha demostrado que está proporcionalmente relacionado con las tasas de crecimiento de los mismos. En el periodo de siembra, por ejemplo, debe posibilitar un manejo técnicamente factible y económicamente rentable, normalmente se considera de 10 % a 15 % con algunas limitaciones en el desarrollo. Esta densidad es el peso de la biomasa en relación al volumen de crianza, por lo que es necesario saber el volumen del estanque para determinar los kilogramos de truchas que se pueden criar sin riesgos de competencia por el alimento, óptima captación de oxígeno del agua, ocurrencias de canibalismo, entre otras (IICA y COFUPRO, 2010).

Blanco (1995), establece que a una temperatura del agua de 10°C, la capacidad estándar para un estanque de engorde es de 20 a 25 kg de pez por metro cuadrado, de manera tal que permita un máximo aprovechamiento del oxígeno presente. Además que para mantener cargas con densidades límite, se debe inyectar un caudal que garantice determinados recambios de agua para mantener el nivel de oxígeno requerido.

Alvarado (1999), estudió el efecto de cuatro densidades diferentes en estanques de concreto y de tierra sobre el crecimiento y la sobrevivencia de la trucha arco iris; encontrándose que al disminuir la densidad de cultivo se obtuvo mayores valores de peso final y tasa de crecimiento estándar para ambos tipos de estanques, siendo dicho peso promedio de 218,66 g; 153,66 g; 118,56 g y 111,71 g en los estanques de tierra y 242,53 g; 204,85 g; 152,54 g y 121,08 g en los estanques de concreto para las densidades de 10,93 kg/m³ ; 15,37 kg/m³; 23,71 kg/m³; 44,68 kg/m³ y 12,12 kg/m³; 20,48 kg/m³; 30,51; 48,44 kg/m³ de agua respectivamente.

4.3 CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO A CAUSA DE LA PRODUCCIÓN DE TRUCHA ARCO IRIS

Como subproductos (residuos) de la piscicultura se encuentran la materia orgánica, nitrógeno orgánico y fósforo, siendo estos dos últimos mejor conocidos dentro de la literatura como nutrientes, de gran interés y estudio en cuanto a contaminación, especialmente frente al tema de eutrofización de cuerpos naturales de agua (Ándela y Cortez, 2009). Al respecto, cantidades de fósforo total (PT), nitrógeno total (NT) presentes en la fracción sólida fueron estimados por Bergheim *et al.*, (1993) y Foy y Rosell (1991), encontrándose que están en el rango 7-32% y 30-84% respectivamente.

Los sólidos en suspensión se caracterizan por su rápida sedimentabilidad y son generados por la presencia de heces fecales de las truchas, alimento suministrado que no ha sido ingerido y partículas de barro y/o arcilla contenidas en el agua. Sin embargo dicha facilidad para sedimentar permite que sean retenidos al interior del estanque y se generen procesos de disolución y degradación que además de consumir el oxígeno del agua, incrementan las especies disueltas de nitrógeno y fósforo, las cuales son más complejas y costosas de remover del efluente del estanque (Dalsgaard y Pedersen, 2011; Sindilariu, 2007) al igual que propicia un

efecto negativo sobre las branquias de los peces (Blanco, 1995). Todo lo anterior crea condiciones adversas para que el pez lleve su desarrollo a un ritmo normal y demore mucho más tiempo en alcanzar la biomasa esperada para su comercialización.

En estudios realizados por Hoyos *et al.* (sf), se evaluó el efecto de la disolución de los sólidos suspendidos sobre la calidad del agua. Para esto se dispuso el lodo generado por un cultivo de trucha en un reactor tipo batch operando durante 120 horas con agitación, a una temperatura controlada de 14°C y se determinó que hay una transferencia del material biodegradable de la fase sólida a la fase disuelta: La DBO₅ presentó incrementos en la fracción disuelta, alcanzando hasta el 47% de la DBO₅ total, el Nitrógeno total Kjeldahl (NTK) presentó una tasa de disolución de 0,044 mg N (h*g lodo)⁻¹, el Nitrógeno Total Amoniacal (NTA) se detectó en la fracción soluble después de 56 horas, con una tasa de generación de 0,068 mg N (h*g lodo)⁻¹ y el Fósforo Total (PT) alcanzó una tasa de disolución del 0,020 mg P (h*g lodo)⁻¹.

Por su parte De la Cruz y Salazar (2007), trabajaron en una granja con cultivo intensivo en Colombia y reportaron Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el efluente de la granja en el rango de 7 a 34 mg/l, mientras que Yasnó y García (2007) reportaron concentraciones de SST entre 1,2 -7,5 mg/l en cultivos semi intensivos, ubicados en la misma zona de Colombia.

4.4ESTANQUE MULTIPRO

En el cultivo de la trucha tradicionalmente se han empleado diferentes tipos de estanque desde los construidos en tierra, hasta los canales de agua corriente o más conocidos como 'raceways', sin embargo la geometría de los estanque incluye solo dos formas, circular y rectangular (Oca *et al.*, 2004), cuya producción generan dos tipos de efluente: uno principal que se caracteriza por presentar altos

flujos de agua con bajas concentraciones contaminantes y el otro, de lavado, bajos flujos de agua y altas concentraciones contaminantes. La mayor limitación para el tratamiento del efluente principal, está en el alto flujo de agua que diluye los contaminantes impidiendo que los sistemas tradicionalmente usados en aguas residuales sean aplicables (Fernández, 2014). De allí la importancia de encontrar una metodología de cultivo que simultaneo a su propósito productivo, involucre el componente ambiental que asegure al máximo posible un buen manejo del recurso hídrico y facilite la extracción de los lodos para su posterior tratamiento.

Es así como en el marco del proyecto de Investigación “Estudio, Diseño y Evaluación de un Prototipo de Estanque Piscícola” se ha desarrollado un estanque como el indicado en la figura 1 para la cría de la trucha que permite la extracción del lodo sin necesidad de extraer el cultivo, incrementando la frecuencia de limpieza a varias veces en la semana. El estanque presenta paredes inclinadas en un ángulo de 45°, la pared conduce al fondo hacia un canal rectangular ubicado a lo largo del estanque, con pendiente del 1,4%. La parte superior del canal se cubre con una malla plástica de 1 pulgada de diámetro promedio. La pared inclinada permite que los sólidos retenidos sobre ella puedan moverse hasta el canal donde son almacenados para su posterior evacuación. Para su extracción el canal cuenta en el extremo de salida con una válvula de apertura rápida de 6 pulgadas de diámetro y en el extremo inicial con un tubería que permite la inyección de agua desde el canal de alimentación de agua al estanque, por lo cual cuando se abre la válvula de apertura rápida se forma un flujo en corto circuito que permite el arrastre del lodo acumulado en el canal (Universidad del Cauca, Universidad del Valle, Centro regional de Productividad e Innovación del Cauca CREPIC, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2010).

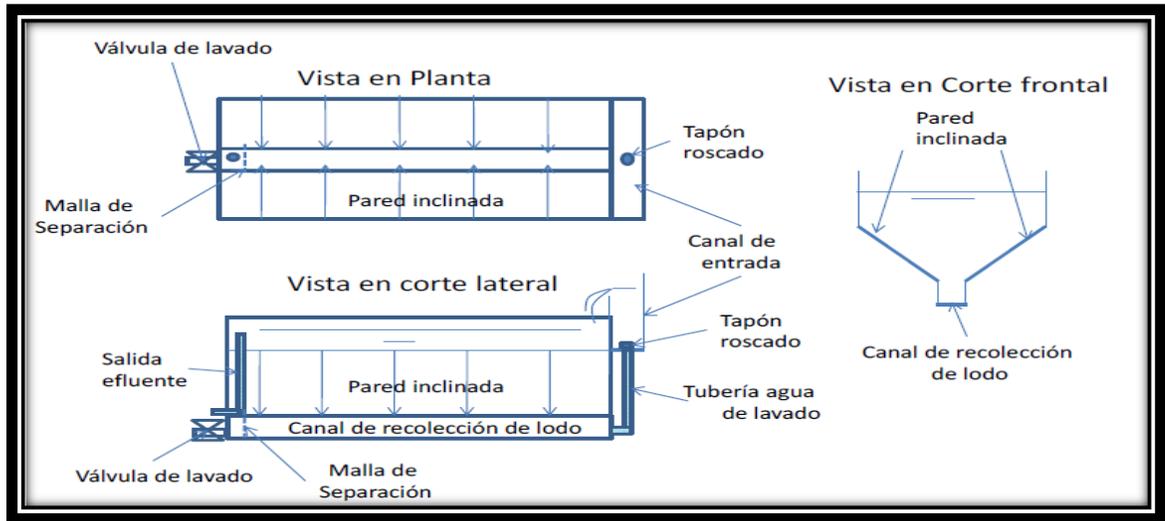


Figura 1. Cortes en planta, frontal y lateral del estanque MULTIPRO, tomado de (Fernández, 2014).

4.5 ESTUDIOS COMPARATIVOS DE BIOMETRIA REPORTADOS POR LA LITERATURA SOBRE ESTANQUES MULTIPRO

En estudios preliminares dirigidos al desarrollo de la metodología MULTIPRO, Fernández y Caicedo (2010), evaluaron un prototipo de estanque MULTIPRO versus los estanques tradicionales de una piscifactoría de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) de 2 x 10 m con profundidades de 0.9 m, y entre muchos aspectos se estableció que hay una mayor tasa de crecimiento del pez en el estanque MULTIPRO reduciendo en 21 días el tiempo requerido para alcanzar un tamaño de 250 g/pez.

Posteriormente, ambos investigadores, compararon el desempeño en términos de la contaminación efluente, la producción de biomasa y el uso de recurso hídrico, un estanque MULTIPRO versus uno en tierra y un estanque MULTIPRO versus uno convencional construido en concreto. En el primer caso, los estanques fueron operados para dos niveles de densidad final (7,9-8,2 y 19,2-19,8 kg/m³), y se destaca entre sus múltiples resultados que el MULTIPRO redujo los periodos

requeridos para llevar los peces de 150 a 300 g entre 21,2% y 17%, es decir, se obtuvo una reducción de 25,8 y 21 días respectivamente; en el segundo caso se evaluó para un tamaño y una densidad inicial de peces 110 g y 8,8 kg/m³, obteniéndose que para una misma producción, el MULTIPRO presentó mayores tasas de crecimiento (2,001 g/día versus 1,477 g/día), reduciendo los periodos requeridos para llevar los peces de 110 a 300 g en 33 días, lo que se refleja en una mayor producción, reducción de costos de alimentación, operación y mantenimiento y una disminución del volumen total de recurso hídrico necesario.

4.6 SISTEMAS CON RECIRCULACIÓN DE AGUA

Los sistemas de recirculación, como su nombre lo indica, siempre utiliza la misma agua tras su filtración mecánica y biológica, pero tienen la capacidad de controlar el ambiente y algunos parámetros de calidad de agua para optimizar la salud de los peces y sus tasas de crecimiento. La temperatura, salinidad, pH, alcalinidad, composición química y el oxígeno son monitoreados y continuamente controlados; los residuos sólidos son filtrados y removidos, el aporte de oxígeno se realiza de forma completamente artificial, fundamentalmente mediante oxígeno líquido. La cantidad de oxígeno depende de la carga de peces, pero en los sistemas super-intensivos se llega a 3-4 renovaciones a la hora, y una sobre-saturación de 200-300%, con el fin de mantener concentraciones suficientes para la densidad de peces en (Sandoval, 2013; Joveret *al.*, 2003; Galli y Sal, 2007).

5. METODOLOGÍA

5.1 ZONA DE ESTUDIO

La evaluación se desarrolló en la Estación Piscícola Ampiu, administrada por el Cabildo indígena del Reguardo de Ambaló .Ubicada a 2°34'58.8" de Latitud y - 76°22'1.92" de longitud, en jurisdicción del municipio de Silvia en el departamento del Cauca en Colombia, a una altura de 2.620 m.s.n.m., con una temperatura del ambiente que oscila entre 6 y 16 °C y una temperatura del agua promedio de 14°C.

5.2 CONDICIONES DE LA PISCÍCOLA

La estación cuenta con una bocatoma, un desarenador, un canal de derivación del agua y 17 estanques en concreto; 2 de ellos circulares (estadía de alevinos) y 15 construidos mediante la tecnología MULTIPRO, de los cuales 1 es utilizado como estanque de reserva . En la figura 2 se puede apreciar la distribución de los estanques y se observa que el agua afluyente ingresa por una bifurcación de canales: el primero lo distribuye a los dos primeros estanques donde permanecen alevinos y el segundo la lleva a los cinco siguientes estanques. La piscícola está diseñada para que toda el agua afluyente circule paulatinamente, gracias a los diferentes canales de distribución, desde el primer estanque hasta llegar al último de ellos donde el pez cumple con el tamaño apropiado para su cosecha.

La capacidad de producción es de 1.800 kg al mes, para lo cual mensualmente se dispone un cultivo de 6.000 alevinos en los primeros dos estanques que cada 30 días mudan a los estanques siguientes.

5.3 DESARROLLO DE OBJETIVOS

El seguimiento de biometría se realizó en los 16 estanques MULTIPRO de la piscícola de Ambaló (excluyendo el estanque de reserva o de cuarentena). El número 1 y 2 corresponden a los estanques de menor tiempo de residencia del pez y ese número asciende conforme el peso del animal incrementa a través del tiempo hasta llegar al 15 y 16 donde el pez alcanza el tamaño suficiente para su cosecha y posterior comercialización.

La figura 2 se muestra el diseño de la piscícola por diferentes tipos de estanques y canales de distribución de flujo.

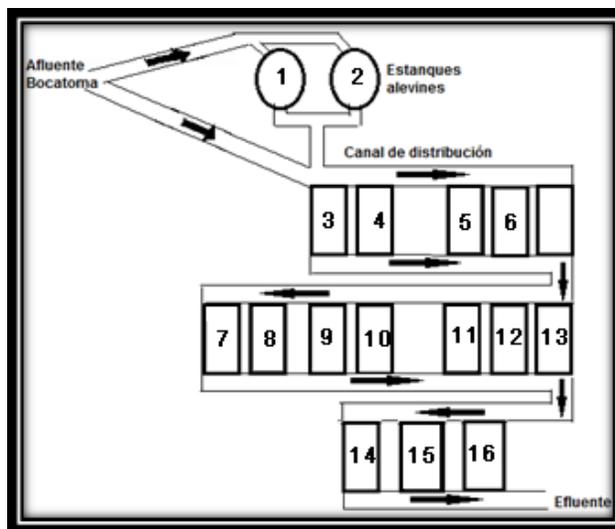


Figura 2. Descripción de la piscícola por diferentes tipos de estanques y canales de distribución de flujo.

Siguiendo la línea del flujo que se señala en la figura anterior, el agua efluente de los siete (7) primeros estanques es utilizada por los siete (7) siguientes, y esta a su vez alimenta a los tres últimos, convirtiéndolo en un proceso que intenta al máximo el aprovechamiento de una misma cantidad de recurso hídrico pero que al mismo tiempo exige un control más eficaz y oportuno con el objetivo de garantizar las condiciones necesarias para el apropiado desarrollo de los peces.

Las particularidades geométricas de los 16 estanques, el peso promedio del pez, biomasa y densidad que se mantiene en cada uno de ellos se describen en la tabla 3.

Tabla 3. Características de estanques MULTIPRO de la piscícola de Ambaló.

| ESTANQUE | LARGO (m) | ANCHO (m) | INCLINACIÓN DE LAS PAREDES(°) | VOLUMEN (m3) | NÚMERO DE PECES | PESO PROMEDIO DEL PEZ (g) | BIOMASA (Kg) | DENSIDAD (Kg/m3) |
|----------|-----------|-----------|-------------------------------|--------------|-----------------|---------------------------|--------------|------------------|
| 1 | x | x | x | 4,9 | 3000 | 35 | 105 | 21,43 |
| 2 | x | x | x | 4,9 | 3000 | 35 | 105 | 21,43 |
| 3 | 6 | 2,5 | 40 | 10,87 | 3000 | 70 | 210 | 19,32 |
| 4 | 6 | 2,4 | 40 | 10,87 | 3000 | 70 | 210 | 19,32 |
| 5 | 6 | 2,5 | 40 | 10,87 | 3000 | 70 | 210 | 19,32 |
| 6 | 6 | 2,5 | 40 | 10,87 | 3000 | 70 | 210 | 19,32 |
| 7 | 9 | 2,5 | 40 | 16,3 | 2000 | 150 | 300 | 18,40 |
| 8 | 9 | 2,5 | 40 | 16,3 | 2000 | 200 | 400 | 24,54 |
| 9 | 9 | 2,5 | 40 | 16,3 | 2000 | 200 | 400 | 24,54 |
| 10 | 9 | 2,5 | 40 | 16,3 | 2000 | 200 | 400 | 24,54 |
| 11 | 10 | 2,5 | 40 | 18,11 | 1500 | 300 | 450 | 24,85 |
| 12 | 10 | 2,5 | 40 | 18,11 | 1500 | 300 | 450 | 24,85 |
| 13 | 10 | 2,5 | 40 | 18,11 | 1500 | 300 | 450 | 24,85 |
| 14 | 10 | 2,5 | 40 | 18,11 | 1500 | 300 | 450 | 24,85 |
| 15 | 12 | 4,5 | 10 | 47,34 | 2800 | 400 | 1120 | 23,66 |
| 16 | 12 | 4,5 | 10 | 47,34 | 2800 | 400 | 1120 | 23,66 |

Para el cálculo de la densidad en términos de la biomasa, se recurrió a la Ecuación 2. :

$$Densidad\ de\ biomasa = \frac{Numero\ de\ peces \times peso\ del\ pez}{volumen\ de\ agua} \quad (Ecuación\ 2)$$

De otro lado, tal y como se indica en la figura 3 por facilidad de medición se tomó una muestra de cinco estanques (T1, T2, T3, T4, T5) en los cuales el tamaño de pez variaba dependiendo del tiempo de permanencia en la piscícola con la

finalidad de monitorear parámetros como: oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de O.D, pH, temperatura (utilizando sonda multiparametrica SensiON™156 Hach; precisión $\pm 0,01$) y caudal (utilizando molinete OTT C2; precisión $\pm 0,02$.)

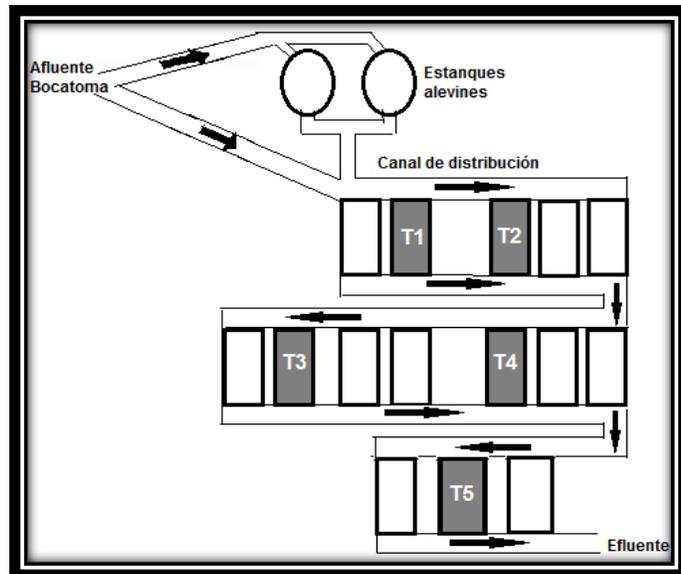


Figura 3. Descripción de los 5 estanques elegidos para medición de parámetros físico-químicos y caudal.

- **Objetivo específico 1:**

Determinar las tasas de crecimiento para diferentes tamaños de pez en los estanques MULTIPRO.

Para los 16 estanques estudiados, el monitoreo del crecimiento o biometría se realizó con el método gravimétrico, el cual consiste en pesar en una balanza previamente calibrada, una muestra de peces capturados al azar con red o atarraya (mayor al 3% de la población de cada estanque). La biometría se realizó cuatro (4) veces durante el tiempo de residencia de los peces en sus respectivos estanques antes de alcanzar el tamaño apropiado para ser dispuestos en el siguiente, es decir, una (1) vez a la semana durante un (1) mes. Se realizaron tres

(3) réplicas que están determinadas por dicho movimiento de una cochada de peces hacía otro estanque.

Dado que el caudal está directamente relacionado con oxígeno disuelto, se realizó la determinación del caudal en cada estanque y caudal total con la utilización del molinete OTT C2; precisión $\pm 0,02$. Al respecto, se realizaron dos (2) mediciones a la semana en los estanques elegidos para tal fin durante el tiempo de permanencia de una cochada antes de ser ubicada en el estanque sucesivo.

La tasa de crecimiento está dada por la pendiente obtenida mediante el modelo estadístico lineal (mínimos cuadrados), el cual toma el tiempo (t), medido en días, y el peso del pez, medido en gramos. La verificación de dichas tasas de crecimiento se realizó con estimación del peso total del cultivo a partir del peso medio de la muestra. De igual manera se llevó el registro de la temperatura del agua en los estanques seleccionados teniendo en cuenta que este parámetro es de importancia en el desarrollo de los peces. Por último, con el ánimo de determinar la incidencia del cultivo sobre el O.D se realizó un análisis sobre la variabilidad de este parámetro en los diferentes puntos dentro del estanque (puntos 2, 3 y 4 de la figura 2), mediante la prueba estadística no paramétrica de Friedman; esta se utilizó teniendo en cuenta que las 3 muestras son dependientes y por tal motivo estadísticamente no se pueden hacer pruebas para la determinación de su normalidad.

- **Objetivo específico 2:**

Estimar el tiempo de producción de la piscícola de Ambaló.

La estimación del tiempo de producción de la piscícola de Ambaló se determinó mediante las tasas de crecimiento construyéndose una línea de tiempo del crecimiento de los peces a partir de las biometrías obtenidas de toda la piscícola durante el periodo de muestreo, teniéndose así conocimiento sobre el crecimiento

promedio en cada uno de los estanques hasta alcanzar el peso requerido o necesario del cultivo para ser comercializado.

- **Objetivo específico 3:**

Estimar el impacto de la reutilización del agua sobre el Oxígeno Disuelto.

En primer lugar y debido a la influencia que tiene la cantidad de recurso hídrico que ingresa al sistema sobre la concentración de oxígeno disuelto, se calcularon los caudales teóricos bajo la metodología propuesta por Blanco (1995) mediante la ecuación 1 con el fin de hacer un análisis comparativo entre estos valores y los hallados a escala real.

La determinación del valor de oxígeno disuelto se hizo mediante una sonda multiparamétrica SensiON™156 Hach ($\pm 0,01$) en tres puntos de los estanques MULTIPRO previamente seleccionados, además de los canales que distribuyen el flujo en cada uno de ellos (Ver figura 4). Para la estipulación del sitio exacto de medición para cada punto, se realizaron pruebas a diferentes distancias del borde del estanque y a distintas profundidades. Al final de ese procedimiento se concluyó que el punto más adecuado se hallaba en la mitad del estanque a una profundidad de 75 cm, pues se comprobó que por la presencia de truchas en ese punto había mayor incidencia en los datos registrados por el equipo.

La toma de los valores de oxígeno disuelto se llevó a cabo cuatro (4) días diferentes durante los treinta (30) días de permanencia de los peces en un mismo estanque, con tres (3) réplicas determinadas por el cambio de cochada.

Con los datos recolectados se realizó un análisis sobre la variabilidad del oxígeno disuelto en los afluentes y efluentes para determinar la existencia de diferencias significativas, y de este modo establecer los cambios que presenta el oxígeno disuelto al entrar y salir del estanque, teniéndose en cuenta que el agua saliente

de los primeros estanques es el agua entrante de los siguientes (ver figura 2). En los afluentes T1 y T2 al igual que T3 y T4 se realizó pruebas de comparación de medias independientes, mientras que para los afluentes y efluentes de los demás estanques (incluyendo los efluentes de T1 y T2) se realizaron pruebas t pareadas por tratarse de muestras cuyas variables comparten dependencia; además se estudió el comportamiento del oxígeno disuelto en los puntos 4 y 5 de cada estanque; puntos de importancia por presentar reaireación a causa de la caída hidráulica.

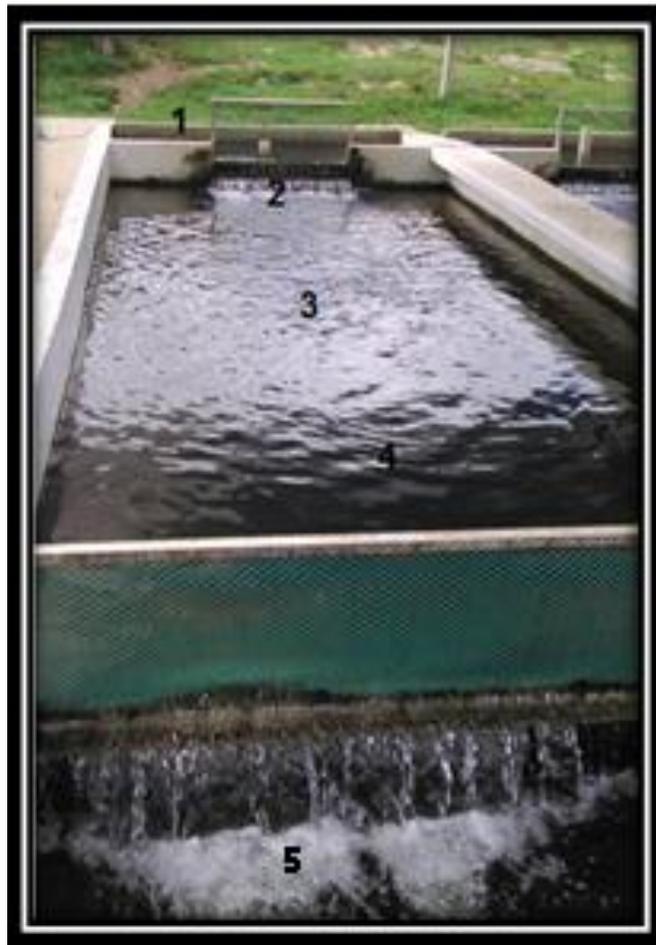


Figura 4. Puntos de muestreo de O.D y temperatura

6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 TASAS DE CRECIMIENTO PARA DIFERENTES TAMAÑOS DE PEZ

En términos del peso promedio adquirido, en la tabla 4 se presenta el resumen estadístico de los resultados obtenidos por cada estanque de la estación piscícola durante las 13 biometrías realizadas. Es prudente aclarar que algunos de los estanques cuentan con menos reportes por causa de ausencia de peces para el día de realización de la biometría; esto obedeció a aspectos netamente operativos de la piscícola por parte de los administradores como lavado de estanques, o por la espera para la recepción de un nuevo lote de alevines (en el caso particular de los dos primeros estanques), entre otros.

Tabla 4. Peso promedio por estanque durante el periodo de muestreo

| ESTANQUE | PESO PROMEDIO (g) | DESV. EST. | MÁXIMO | MÍNIMO | N°DATOS |
|-----------------|----------------------------------|-------------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 5,36 | 1,47 | 7,70 | 3,71 | 6 |
| 2 | 5,40 | 1,65 | 7,90 | 3,80 | 6 |
| 3 | 13,63 | 4,24 | 20,00 | 7,50 | 7 |
| 4 | 13,02 | 4,38 | 20,50 | 7,20 | 14 |
| 5 | 19,81 | 14,64 | 57,26 | 6,53 | 14 |
| 6 | 34,62 | 12,44 | 58,00 | 17,80 | 14 |
| 7 | 71,87 | 47,84 | 173,20 | 18,20 | 13 |
| 8 | 72,29 | 25,44 | 142,65 | 39,87 | 14 |
| 9 | 102,83 | 56,22 | 205,80 | 50,20 | 13 |
| 10 | 152,80 | 45,70 | 248,00 | 62,20 | 13 |
| 11 | 224,81 | 51,18 | 274,56 | 112,88 | 14 |

Continuación Tabla 4. Peso promedio por estanque durante el periodo de muestreo

| ESTANQUE | PESO PROMEDIO (g) | DESV. EST. | MÁXIMO | MÍNIMO | N°DATOS |
|-----------------|----------------------------------|-------------------|---------------|---------------|----------------|
| 12 | 233,62 | 51,49 | 296,90 | 140,65 | 13 |
| 13 | 259,34 | 88,92 | 473,70 | 150,70 | 11 |
| 14 | 307,32 | 69,40 | 413,90 | 209,50 | 13 |
| 15 | 378,49 | 62,23 | 473,75 | 276,18 | 11 |
| 16 | 375,32 | 81,32 | 487,00 | 212,80 | 11 |

En general los resultados señalan como los peces aumentan de tamaño conforme cumplen el tiempo de residencia en cada estanque y pasan al siguiente hasta llegar a los dos últimos donde finalmente son cosechados con un peso promedio de 380 g. Si se analiza particularmente las desviaciones de los datos, es claro que existe una alta variabilidad entre ellos, lo cual podría relacionarse directamente a la falta de una adecuada selección y separación de peces con talla por encima o por debajo de la media para el estanque, labor que debe realizarse periódicamente para asegurar la uniformidad de pesos.

Los datos de crecimiento de los peces y el tiempo se ajustaron a un modelo lineal de mínimos cuadrados, donde la pendiente de la recta representa las tasas de crecimiento. Por causa de la variabilidad de los datos explicada anteriormente, dichas tasas fueron obtenidas a diferentes rangos de peso; es así como se establecieron 6 de ellos, iniciando en 6,5 g hasta alcanzar un peso comercial de 330g.

En las figuras 4 y 5 se presentan las ecuaciones y el coeficiente de correlación de Pearson determinadas para cada intervalo de peso.

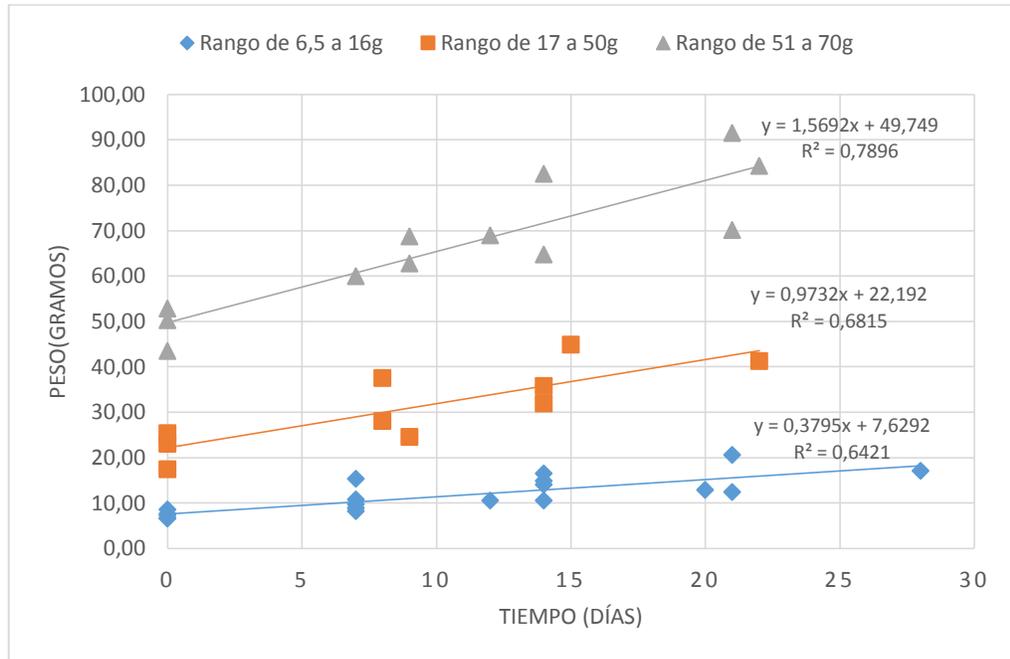


Figura 5. Incremento de peso en los peces a través del tiempo desde 6,5 - 70 g.

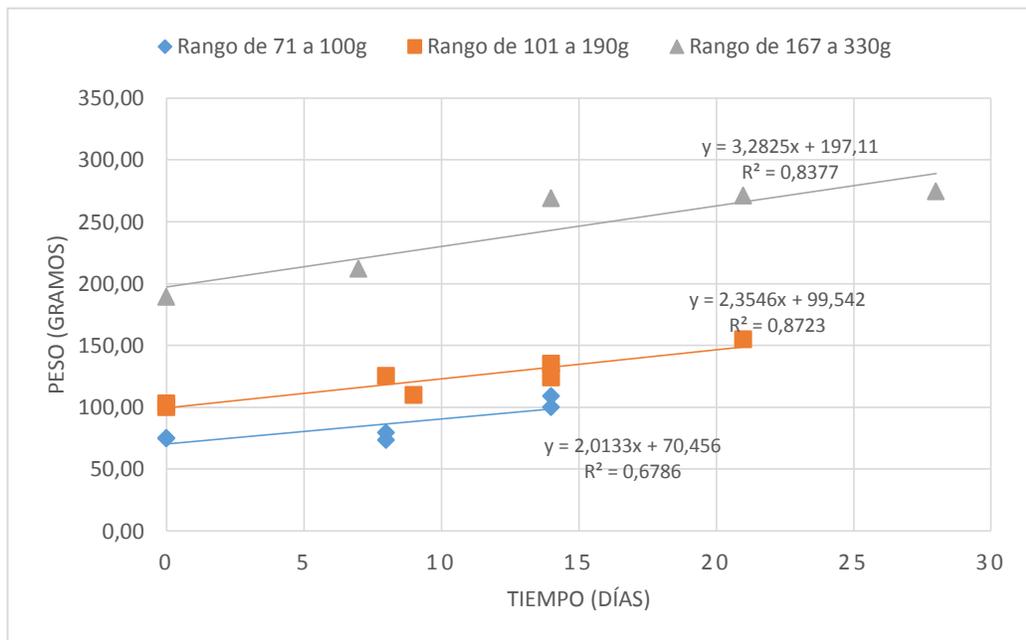


Figura 6. Incremento de peso en los peces a través del tiempo desde 71-330 g

Si se observa las diferentes ecuaciones de ajuste presentadas en las figuras anteriores, es evidente como el pez obtiene un mayor incremento en peso conforme pasa el tiempo de residencia en la piscícola. Lo anterior se resume en la tabla 5.

Tabla 5. Tasa de crecimiento para los rangos estipulados desde 6,5 a 330g.

| RANGO PESO (g) | TASA (g/día) |
|-----------------------|---------------------|
| 6,5 a 16 | 0,3795 |
| 17 a 50 | 0,9732 |
| 51 a 70 | 1,5692 |
| 71 a 100 | 2,0133 |
| 101 a 190 | 2,3546 |
| 191 a 330 | 3,2825 |
| PROMEDIO | 1,7620 |

Fernández y Caicedo (2010), evaluaron comparativamente en la estación piscícola de Chiliglo, Municipio de Coconuco, un estanque MULTIPRO a escala piloto y un estanque convencional a escala real en términos de las tasas de crecimiento que cada uno presenta para una categoría de peso entre los 110 y 330 g. Al final dicha tasa fue establecida en 2,00 g/día por pez, tasa que contrastada con los valores hallados en este estudio, varía en un 29% (estimada a partir de la media entre los rangos 101-190 g y 191-330g, la cual corresponde a 2,8185 g/día) . Sin embargo, se considera que esto radica primordialmente en el hecho que la temperatura media del agua con la cual desarrollaron la investigación fue de 11 °C, mientras que para el presente estudio fue de aproximadamente 15 °C, siendo esta última la más adecuada puesto que se asocia a un incremento de peso mayor en la trucha (Blanco, 1995; Sandoval, 2013).

De acuerdo con Males y Rivera (2015), quienes evaluaron la contaminación en términos fisicoquímicos del recurso hídrico para los mismos estanques en el mismo periodo de tiempo de este estudio, encontraron que se presentaron reducciones en las cargas contaminantes generadas por los estanque MULTIPRO, con respecto a las generadas por uno convencional, del 9,198% para NKT; 83,924% para SST y 68,170% para PT, pero se propició un incremento del NTA (0,279 mg/L MULTIPRO; 0,130 mg/L Convencional). Según Fernández y Caicedo (2010) el aumento en la generación de NTA puede estar relacionada a una mayor excreción metabólica alcanzada por los peces del estanque MULTIPRO, que a la transformación del nitrógeno en el estanque, consecuencia del mayor crecimiento de los peces. Al respecto de esta información, se puede observar que las condiciones dentro del estanque son muy favorables para el crecimiento de los peces, lo cual incide directamente en las tasas previamente discutidas.

Por otra parte, según datos suministrados por la Asociación productora y comercializadora de productos acuícolas del municipio de Silvia (APROPESCA) de siete piscícolas, a la cual pertenece la piscícola de Ambaló; para el periodo 2013-2014, las demás estaciones truchícolas cuyas condiciones ambientales se asemejan entre ellas pero que no cuentan con estanques Multi-propósito, tienen una tasa de crecimiento con peso de iniciación de 6,5 g hasta finalización de 360 g, de 1,47 g/día por pez; valor que si se compara con el obtenido en esta investigación es aproximadamente 16,6% menor (0,37 g/día por pez menos), lo cual habla muy bien de la tecnología MULTIPRO. Al respecto, es importante entender que estos valores pueden verse afectados debido a que los índices de crecimiento en las diferentes piscícolas varían fácilmente de un ciclo a otro por causa de múltiples factores que pueden ser de tipo ambiental, de manejo técnico o de la calidad genética de la semilla a trabajar, entre otros.

El éxito de las tasas de crecimiento para este tipo de tecnología está asociado en gran medida a la buena calidad del agua ya que esto beneficia el apropiado desarrollo del pez en un menor tiempo. Con el fin de poner en contexto lo anterior, en la tabla 6 se exponen los parámetros de calidad del agua y caudal medidos en campo para los estanques muestreados al igual que el caudal total de la piscícola.

Tabla 6. Parámetros de calidad del agua y caudal por sitio de muestreo

| SITIO | PARÁMETRO | Q (L/s) | O.D entrad a (mg/L) | O.D interio r (mg/L) | O.D salida (mg/L) | %SAT | T(°C) | pH |
|----------------------|-----------|----------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------|-------|------|
| AFLUENTE PISÍCOLA | PROMEDIO | 116,37 | | | | | | |
| | DES.EST | 26,77 | | | | | | |
| | MÁXIMO | 165,90 | | | | | | |
| | MÍNIMO | 62,15 | | | | | | |
| | N° DATOS | 22 | | | | | | |
| ESTANQUE T1 | PROMEDIO | 34,52 | 7,69 | 7,61 | 7,63 | 98,87 | 14,64 | 7,92 |
| | DES.EST | 7,94 | 0,18 | 0,20 | 0,19 | 2,51 | 0,79 | 0,37 |
| | MÁXIMO | 49,22 | 8,07 | 8,01 | 8,02 | 102,7 | 15,9 | 8,41 |
| | MÍNIMO | 18,44 | 7,37 | 7,29 | 7,32 | 92,8 | 13,4 | 6,98 |
| | N° DATOS | 22 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| ESTANQUE T2 | PROMEDIO | 19,01 | 7,76 | 7,57 | 7,57 | 98,92 | 14,72 | 7,94 |
| | DES.EST | 4,37 | 0,16 | 0,21 | 0,28 | 2,15 | 0,76 | 0,37 |
| | MÁXIMO | 27,10 | 8,07 | 8,03 | 8,02 | 102,3 | 16 | 8,42 |
| | MÍNIMO | 10,15 | 7,54 | 7,14 | 7,17 | 93,7 | 13,4 | 6,87 |
| | N° DATOS | 22 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |

Continuación Tabla 6. Parámetros de calidad del agua y caudal por sitio de muestreo

| SITIO | PARÁMETRO | Q (L/s) | O.D entrad a (mg/L) | O.D interior (mg/L) | O.D salida (mg/L) | %SAT | T(°C) | pH |
|-------------|-----------|----------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------|-------|------|
| ESTANQUE T3 | PROMEDIO | 14,35 | 7,55 | 7,00 | 6,92 | 94,58 | 14,85 | 7,78 |
| | DES.EST | 3,30 | 0,24 | 0,30 | 0,34 | 3,95 | 0,84 | 0,44 |
| | MÁXIMO | 20,46 | 7,94 | 7,49 | 7,50 | 100 | 16,7 | 8,54 |
| | MÍNIMO | 7,67 | 7,05 | 6,38 | 6,13 | 83,6 | 13,5 | 6,6 |
| | N° DATOS | 22 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| ESTANQUE T4 | PROMEDIO | 13,58 | 7,53 | 6,07 | 5,78 | 90,37 | 14,92 | 7,65 |
| | DES.EST | 3,12 | 0,24 | 0,44 | 0,88 | 5,02 | 0,81 | 0,38 |
| | MÁXIMO | 19,36 | 7,97 | 7,61 | 7,62 | 100,5 | 16,5 | 8,15 |
| | MÍNIMO | 7,25 | 7,15 | 4,63 | 4,34 | 80,2 | 13,6 | 6,56 |
| | N° DATOS | 22 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| ESTANQUE T5 | PROMEDIO | 32,97 | 6,73 | 6,07 | 6,03 | 86,91 | 15,03 | 7,55 |
| | DES.EST | 7,58 | 0,32 | 0,44 | 0,49 | 3,36 | 0,77 | 0,35 |
| | MÁXIMO | 47,01 | 7,30 | 6,73 | 6,74 | 91,7 | 16,7 | 7,94 |
| | MÍNIMO | 17,61 | 6,22 | 5,21 | 5,15 | 80,4 | 13,8 | 6,56 |
| | N° DATOS | 22 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |

Tal como se indica en la tabla 6, en términos de oxígeno disuelto los valores promedio de concentraciones dentro los estanques en evaluación están por encima del valor que se estima como requerimiento mínimo para el mantenimiento del cultivo en condiciones saludables, el cual oscila entre 5,5 a 6 mg/L (Liao, 1971; Smart, 1981; Colt y Tomasso 2001 citado por Núñez *et. al*, 2010). De igual modo, se observa que la concentración de O.D residual, es decir la concentración a la salida de cada estanque supera la concentración mínima de 5 mg/L sugerido por Núñez *et al.* (2010) y Blanco (1995) para la producción de trucha.

Debido a que no existe una prueba estadística que permita concluir la normalidad de muestras dependientes entre sí, se recurrió a la prueba no paramétrica de Friedman (Ver Anexo C, Tabla C.2) con el propósito de determinar las zonas al interior de cada estanque donde hubo mayor consumo de oxígeno disuelto. En ese sentido los resultados mostraron que: En los tres últimos estanques (T3, T4 y T5) existió un mayor consumo en la parte posterior; en tanto que los dos primeros (T1 y T2), el consumo mayoritariamente ocurrió en la mitad, lo cual indicaría que en esos puntos habría mayor presencia de peces, así mismo factores asociados con la degradación de sólidos acumulados (materia orgánica y nutrientes) puesto que los procesos de oxidación de este material generan consecuencias como la minimización de la concentración de oxígeno disponible para la respiración (Hoyos, 2011).

De acuerdo con los porcentajes de saturación presentados en la tabla 6 se observa que los peces gozan de un agua con buena saturación puesto que según Blanco (1995) para un crecimiento normal del cultivo esta tasa debe oscilar entre 65-92%; hecho que confirma Jobling (1995, citado por Yovita, 2007) quien encontró que la trucha arco iris reduce su apetito cuando la saturación de oxígeno cae por debajo del 60 %.

El pH del agua debe estar entre 6,5 y 9,0 (Camacho *et al*, 2000; y Blanco, 1995); por causa que valores por fuera de este intervalo causan estrés en los peces ocasionando una disminución en la tasa de crecimiento (Hoyos, 2011). Para el estudio en cuestión, el pH se encuentra entre 6,56 y 8,54; datos que están dentro del rango sugerido.

La temperatura, como se ha mencionado anteriormente, es un parámetro importante para el crecimiento de la trucha, debido a que incide directamente en los procesos fisiológicos tales como la respiración, alimentación, crecimiento, comportamiento y reproducción (Sandoval, 2013). Merino (2005, citado por Maíz *et al.*, 2010) realizó una comparación del peso alcanzado por un pez en 210 días,

iniciando con 4,6 g a tres temperaturas diferentes (11, 13 y 15°C) y de este modo determinó que el mayor peso obtenido se adquiere a 15°C, seguido de 13°C y por último 11°C (338 g, 294,1 g y 199,4 g respectivamente). En el presente estudio se obtuvo un valor promedio de 15°C, cumpliendo de esta manera con lo estimado por diversos autores aquí citados.

Blanco (1995), también establece que la densidad estándar para peces de 200 g (estanque de engorde), a una temperatura de 10 °C es de 20 a 25 kg /m³, lo que permite máximo aprovechamiento del oxígeno presente. La densidad máxima alcanzada fue 20,04 kg/m³ para el rango de 101 – 190g, la cual cumple con lo estipulado por dicha autora.

En términos generales, los buenos hallazgos en cuanto a las tasas de crecimiento se deben a la suma de todos los parámetros fisicoquímicos medidos que en conjunto dan como resultado una buena calidad del agua en los estanques. Esto posiciona la tecnología MULTIPRO como una alternativa viable para el rápido desarrollo del cultivo de trucha arco iris.

6.2 TIEMPO DE PRODUCCIÓN

Mediante la obtención de las diferentes tasas de crecimiento por rangos de peso dadas por las curvas (ver figura 4 y 5) se determinó el tiempo de producción para la piscícola del cabildo de Ambaló, tal y como se presenta en la tabla 7.

Tabla 7. Tasas de crecimiento y tiempo necesario de producción.

| Rango de peso (g) | Tasa de crecimiento (g/día) | Peso a obtener (g) | Tiempo de producción (días) |
|--|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 6,5 a 16 | 0,3795 | 16 | 25,03 |
| 17 a 50 | 0,9732 | 50 | 33,91 |
| 51 a 70 | 1,5692 | 70 | 12,11 |
| 71 a 100 | 2,0133 | 100 | 14,40 |
| 101 a 190 | 2,3546 | 190 | 37,80 |
| 166 a 330 | 3,2825 | 330 | 42,35 |
| Total días necesarios para cosechar un lote | | | 165,60 |

Con base en los cálculos anteriores, se requieren aproximadamente 165,6 días que equivale a 5,5 meses para alcanzar el peso de pez suficiente para ser cosechado y comercializado. Según datos de la Asociación Productora y Comercializadora de Productos Acuícolas del Municipio de Silvia (APROPESCA), las siete piscícolas para el periodo 2013-2014 (excluyendo la estación de Ambaló), requieren en promedio de 240 días (8 meses) para que sus cultivos logren el peso comercial y que en términos porcentuales representa una reducción aproximada al 31%. Cifras parecidas se reportan en la literatura pero para cultivos hechos en jaulas flotantes; Mendoza por ejemplo (citado por FONDEPES y AECI, 2004) determinó un tiempo de producción de 8 meses para similares rangos de peso.

Esto se materializa en una mayor rentabilidad económica gracias al ahorro de trabajo operativo, insumos alimenticios, mantenimiento de la piscícola en general, disminución de recurso hídrico por biomasa producida y disposición de los estanques más rápidamente para la iniciación de un nuevo cultivo.

6.3 IMPACTO DE LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA SOBRE EL OXÍGENO DISUELTO

En primera instancia, se analizó el caudal, ya que para mantener el nivel de oxígeno requerido se debe contar con un caudal suficiente que garantice ciertos recambios de agua (Blanco, 1995).

Los valores obtenidos de caudal teórico siguiendo la ecuación 1 planteada por Blanco (1995) son los que se presentan en la tabla 8; sin embargo, en aras de una mejor claridad ver anexo C.1. :

Tabla 8. Caudales teóricos por estanques calculados según metodología de Blanco (1995).

| ESTANQUE | Q Teórico (L/s) | Q Real (L/s) |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| T1 | 58,3 | 34,5 |
| T2 | 30,1 | 19,0 |
| T3 | 27,0 | 14,3 |
| T4 | 20,2 | 13,6 |
| T5 | 62,8 | 33,0 |

Si se observan los caudales teóricos y los caudales reales expuestos en la tabla 8, se constata como todos los estanques operan con caudales reales por debajo de los calculados, es decir que, aun trabajando con un flujo de agua inferior al recomendado, los estanques gozan de suficiente concentración de Oxígeno disuelto y la tasa de crecimiento de sus peces es alta como ya se discutió previamente. Si se observa particularmente el estanque T1, el caudal real es el más alto de los cinco; esto se presenta principalmente porque dicho estanque se

ubica justo después de la caída del canal de agua afluyente a la piscícola haciendo que gran parte del flujo tome esa dirección. Es importante resaltar que la metodología propuesta por Blanco (1995) y apoyada en investigaciones de Liao (1970) fue hecha en el extranjero bajo parámetros que seguramente distan en alguna medida de la realidad de las condiciones naturales como por ejemplo periodos estacionales y otras condiciones que pudieren no acoplarse completamente a la realidad del campo colombiano; por lo anterior la determinación del caudal teórico es una medida de tipo orientativa y que no debe ser tomada como una verdad absoluta.

Paralelamente Ash *et al.*, (2010), afirma que el caudal mínimo recomendado en la producción truchícola es de 4 L/s para densidades medias de 20 kg/m³ y biomasa cercanas a 1200 kg. En este sentido, se puede observar que a lo largo del periodo de muestreo el estanque T4 se presentó la mayor densidad y T5 la mayor biomasa (Anexo A, desde Tabla A.3 hasta Tabla A.9), la cual fue de 22,71 kg/m³ y 977,8 kg respectivamente, con un caudal promedio de 13,60 L/s; es decir que, en general la piscícola estaría operando con suficientes flujos de agua que aseguran la sobrevivencia de los peces.

Las condiciones óptimas en las concentraciones de oxígeno disuelto alcanzadas, se deben básicamente a tres factores; el primero es que la cantidad de agua suministrada a los peces es lo suficientemente buena, el segundo factor, como se verá más adelante, es gracias al diseño estructural de la piscícola, el cual permite la reaeración del agua una vez sale de cada uno de los estanques, y el tercero radica básicamente en la extracción del lodo por medio del lavado periódico que se le hace a los estanques, lo que favorece ampliamente la calidad del ambiente de residencia de los peces.

6.4 DISCUSIÓN A PARTIR DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE OXÍGENO DISUELTO AFLUENTE Y EFLUENTE POR ESTANQUES

Se hicieron una serie de comparaciones estadísticas con el fin de comprobar la hipótesis de que no existen diferencias significativas en términos de concentración de oxígeno disuelto en el agua afluente y efluente de los diferentes estanques, sin tener en cuenta lo que sucede al interior de cada uno de ellos. La tabla 9 sintetiza las comparaciones realizadas.

Tabla 9. Resumen de resultados de pruebas estadísticas por comparaciones.

| COMPARACIÓN | PRUEBA | VALOR -P ($\alpha=0,05$) | CONCLUSIÓN ESTADÍSTICA | CONCLUSIÓN TÉCNICA |
|--------------------------------------|--|----------------------------------|--|--|
| Afluente T1 - Afluente T2 | t (comparación de medias Independientes) | 0,2332 | No se rechaza hipótesis nula con 95% de confianza | No hay diferencias significativas entre las muestras |
| Efluente T1- Efluente T2 | t pareada | 0,6553 | No se rechaza hipótesis nula con 95% de confianza | No hay diferencias significativas entre las muestras |
| Afluente T3 - Afluente T4 | t (comparación de medias Independientes) | 0,8563 | No se rechaza hipótesis nula con 95% de confianza | No hay diferencias significativas entre las muestras |

Continuación Tabla 9. Resumen de resultados de pruebas estadísticas por comparaciones.

| COMPARACIÓN | PRUEBA | VALOR -P ($\alpha=0,05$) | CONCLUSIÓN ESTADÍSTICA | CONCLUSIÓN TÉCNICA |
|-------------------------------------|---------------|--|---|--|
| Efluente T3- Efluente T4 | t pareada | 0,000049 | Se rechaza hipótesis nula con 95% de confianza | Hay diferencias significativas entre las muestras |
| Efluente T2- Afluente T4 | t pareada | 0,1383 | No se rechaza hipótesis nula con 95% de confianza | No hay diferencias significativas entre las muestras |
| Efluente T4- Afluente T5 | t pareada | 0,1694 | No se rechaza hipótesis nula con 95% de confianza | No hay diferencias significativas entre las muestras |

Es importante recalcar que para el análisis se recurrió en todos los casos a la prueba t pareada, con excepción de las comparaciones para afluentes T1 vs T2 y T3 vs T4, donde se empleó la prueba t para medias independientes puesto que el agua que transporta el canal no recibe ninguna descarga contribuyente y por tanto ésta no sufre alteración al ingresar a cada uno de los estanques. Al respecto de los resultados obtenidos, se comprueba que efectivamente la hipótesis planteada para un nivel de confianza del 95% se cumplió en la mayoría de los casos. En el caso particular de la prueba de comparación entre los efluentes de los estanques T3 y T4 se concluye que realmente existen diferencias significativas entre los datos, siendo para el primero 6,92 mg/L, mientras que para el último la

concentración de O.D fue 5,78 mg/L (véase Tabla 6.), la cual se encuentra casi en el límite mínimo requerido para garantizar el adecuado crecimiento de los peces. La razón por la cual el estanque T4 presentó bajas concentraciones de este parámetro comparado con el estanque T3 pudo deberse a que tuvo una densidad de cultivo superior, 22,71 kg/m³ y 12,91 kg/m³ respectivamente, lo que implica una mayor generación de SST que por procesos de oxidación compiten con los peces por el Oxígeno disponible.

La discusión anterior puede ratificarse en la investigación realizada por Males y Rivera (2015) quienes evaluaron la contaminación en términos fisicoquímicos para los mismos estanques en el mismo periodo de tiempo de este estudio, en la cual se determinó que la tasa de acumulación de SST del efluente del estanque T3 fue 11,47 kg/día/Tonpez y 5,54 kg/día/Tonpez para el estanque T4, lo que quiere decir que, el estanque T4 retuvo en mayor proporción los sólidos generados.

6.5 DISCUSIÓN A PARTIR DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL EFECTO DE LA CAÍDA HIDRÁULICA PRESENTE EN LOS ESTANQUES

Con la finalidad de determinar el efecto que produce la caída hidráulica sobre el oxígeno disuelto al propiciar la reaireación del agua, se realizó por cada estanque una prueba t de dependencia de variables con $\alpha=0,05$. Dichas pruebas fueron hechas entre los datos obtenidos al final del estanque y en el efluente del mismo (puntos 4 y 5 de la figura 3.). Los resultados arrojaron que en los estanques T1 y T2, no se presentaron diferencias significativas entre las variables analizadas (-P: 0,0689 y 0,8724 respectivamente), en tanto que para los estanques T3, T4 y T5 sí existe diferencia estadísticamente significativa entre los datos (-P: $1,43 \times 10^{-4}$, $3,80 \times 10^{-6}$ y $1,77 \times 10^{-6}$ respectivamente). Esto pudiere estar presentándose porque en los primeros, la saturación es cercana al 100%, mientras que en los últimos es mucho más baja, pasando de 91 a 94,58%; de 76,57 a 90,37%; y 79,27 a 86,91% respectivamente, resultado que derivaría del hecho que para los 3 últimos

estanques la caída propicia en gran medida el intercambio gaseoso entre el agua y la atmosfera (35, 35 y 45 cm respectivamente) lo que se convierte en un aumento de la cantidad de oxígeno en el líquido; mientras que para los 2 primeros estanques, la altura de caída de agua estructuralmente no es lo suficientemente grande como para facilitar una mayor reaireación del agua (15 cm cada uno); pese a eso, no hay ningún riesgo ya que como se explicó en apartados anteriores, este parámetro está por arriba de los valores mínimos recomendados.

De acuerdo con las pruebas anteriormente realizadas, se puede evidenciar que el Oxígeno Disuelto no se ve afectado en gran medida por la reutilización del agua, aun sabiendo que la piscícola suministra una menor cantidad de agua a la estipulada teóricamente, en los estanques MULTIPRO se genera un mejor ambiente dado a la extracción de lodo, haciendo que no se presenten gastos de éste parámetro por la descomposición de los lodos acumulados, y asimismo, la caída hidráulica a la salida de éstos hace que se presente una reaireación, evidenciada en el aumento del porcentaje de saturación en el agua.

CONCLUSIONES

Los resultados de éste trabajo de investigación contribuyeron en el proceso de validación de la tecnología de estanques MULTIPRO, concluyendo lo siguiente:

- Las tasas de crecimiento halladas para los estanques MULTIPRO de la piscícola del cabildo de Ambaló y las establecidas por Fernández y Caicedo (2010), en el estudio piloto, realizada en la piscícola de Chiliglo, municipio de Coconuco, se aprecia un aumento en la ganancia de peso diaria por parte de las primeras (0,80 g/día por pez equivalente a un 29% más); esto está ampliamente relacionado a que la estación de Ambaló cuenta con una temperatura media del agua más cercana a la recomendada por la literatura (15°C), hecho que se considera crucial para el óptimo desarrollo del pez.
- En términos de temperatura, saturación y oxígeno disuelto los peces gozan de un agua con buena calidad, pues la temperatura promedio fue de 15°C, la menor saturación que se presentó fue 80,20 % y en promedio, el oxígeno disuelto estuvo por encima de los requerimientos mínimos. Todos esos parámetros se encuentran dentro de los rangos estipulados por Blanco (1995) y que como consecuencia generó altas tasas de crecimiento en los peces.
- Se determinó que el tiempo de producción para alcanzar un peso comercial de 330 g en la estación piscícola de Ambaló es de 165,6 días (5,5 meses) presentándose una reducción del 74,4 días, equivalente al 31% si se compara con los reportes de APROPESCA para otras las piscícolas de la región que no cuentan con estanques tipo MULTIPRO (240 días que corresponden a 8 meses).

- El caudal de agua que ingresa a la piscícola asegura plenamente las buenas concentraciones de oxígeno disuelto al interior de los estanques.
- Se pudo estimar por medio de pruebas estadísticas de dependencia de variables ($\alpha=0,05$) que el efecto que produce la caída hidráulica sobre el oxígeno disuelto al propiciar la reaireación del agua, no genera cambios significativos en los estanques T1 y T2 debido a que su oxígeno disuelto de saturación es casi el 100%; en tanto que para los estanques T3 a T5 donde sí se presentaron cambios significativos, el porcentaje de saturación fue más bajo; adicionalmente la altura de caída es mayor en los tres últimos estanques. Al respecto, se concluye que el impacto que tiene la reutilización del agua sobre dicho parámetro es positivo debido a que estructuralmente la piscícola, tal como fue construida, tiene el efecto de propiciar enormemente el proceso de reaireación del agua que abandona cada uno de los estanques.
- Otro factor que ayuda a mantener las buenas concentraciones de O.D es la extracción del lodo por medio del lavado periódico que se le hace a los estanques, lo que favorece ampliamente la calidad del ambiente de residencia de los peces.

RECOMENDACIONES

Aunque en el presente estudio se evidenciaron los beneficios que ofrece la tecnología MULTIPRO, también se observaron algunos inconvenientes que deben ser resueltos en aras de una operación que potencialice aún más el rendimiento de la misma.

- Los promedios de las concentraciones de OD residual de cada uno de los estanques registraron valores superiores al mínimo recomendado para el desarrollo de los peces (5,5 mg/L), por este motivo se recomienda la evaluación de este parámetro reduciendo el caudal de entrada a la piscícola con el fin de disminuir la contaminación a este recurso generado en el proceso productivo.
- Existen dos fugas de agua en algunos de los costados de la estructura, que si bien no son muy graves deben ser atendidas. El escape de agua más grande se halló en la primera hilera de estanques
- Se recomienda cambiar las tuberías de descarga de los lodos del fondo de los estanques a 6", pues actualmente se tiene de 4" lo que complica el trabajo para la purga de los lodos puesto que estos colapsan y taponan el sistema de desagüe.
- Se evidenció alta variabilidad en los datos de biometría, se recomienda que sea más rigurosa la separación de los peces con tallas diferentes a la media presentada en cada estanque y que de esa manera haya mayor homogeneidad y organización del cultivo.

- Se recomienda hacer mantenimiento periódicamente a las mallas de entrada de los estanques dado que se observó que la mayoría no cumplían correctamente con su función por encontrarse deterioradas, e incluso uno de ellos no cuenta con dicha malla.

REFERENCIAS

ALVARADO, H. Crecimiento Y Supervivencia De La Trucha Arco Iris Cultivada En Diferentes Tipos De Estanques Y Densidades. Táchira, Venezuela, 1999. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/VeterinariaTropical/vt2402/texto/alvarado.htm

ÁNDELA O., CORTES J., Identificación y estudio de la calidad del agua durante el periodo de formación de lodos en un estanque construido en tierra en la piscícola de Chiliglo, Coconuco: Universidad del Cauca, Facultad de ingeniería Civil., Tesis. 2009.

ASH, K. R; Tek B. G; SADHU R. B; RAJA, M. M. Present Status and Prospect of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Farming in Nepal. Proceedings of 1st National Workshop on Scaling-up of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) Farming Strategies in Nepal. Organisers: Fisheries Research Division, Godawari (NARC). 2010

BERGHEIM, A., SANNI, S., INDREVIK, G., & HLLAND, P. Sludge removal from salmonid tank effluent using rotating microsieves. *Aquacultural Engineering*. 1993.

BERNABÉ G. Acuicultura. Ed. Omega, Barcelona. pp. 573-612. 1991

BERMÚDEZ F. Y GUTIÉRREZ O., Caracterización y estudio de tratabilidad de fluentes de lavado de estanques piscícolas de trucha, Tesis. Universidad del Cauca. Popayán, Cauca, Colombia. 2013

BLANCO CACHAFEIRO, M. C. La Trucha. Cría Industrial. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid-España. 1995

CAMACHO, B.; MORENO, R.; RODRÍGUEZ, G.; Luna, R.; Vásquez, M. Guía para el cultivo de trucha. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México D.F. 2000

CRIPPS, S., & BERGHEIM, A. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems, Aquacultural Engineering, Citado por FERNÁNDEZ, J. E. Nuevo desarrollo tecnológico para la producción más limpia de trucha arco iris. Universidad del Valle, Cali, Colombia. Tesis Doctoral. 2014

COLT, J.E. & TOMASSO, J.R. Hatchery water supply and treatment. En: "Fish Hatchery Management", Citado por NÚÑEZ, P; SOMOZA, G. Guía de Buenas Prácticas de Producción Acuícola para Trucha Arco-iris. 2010. Disponible en línea en:

<http://www.senasa.gov.ar/Archivos/File/File3387-guia-debuenas-practicas-acuicolas.pdf>

DALSGAARD, J. & PEDERSEN, P.B. Solid and suspended/dissolved waste (N, P, O) from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 2011. Disponible en línea en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0044848611000779>

DE LA CRUZ, C. A., & SALAZAR FERNÁNDEZ, A. F. Caracterización y Estudio de Tratabilidad del Efluente de Estaciones Piscícolas. Universidad del Cauca. 2007.

DE LA OLIVA, G. Manual De Buenas Prácticas De Producción Acuícola En El Cultivo De Trucha Arco Iris. Perú, 2011. Disponible en:

<http://www.perucam.com/presen/pdf/19.%20Manual%20Buenas%20Pr%20cticas%20Acu%20colas%20en%20el%20cultivo%20de%20la%20trucha%20Arco%20Iris.pdf>

FAO. Pesca temas: Utilización. Pescados y mariscos utilización. 31 DE OCTUBRE DE 2001.

FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura: Oportunidades y desafíos. Roma, 2014.

FERNÁNDEZ, J; CAICEDO, J. Comparación entre estanques MULTIPRO y tradicional en concreto para producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) . 2010.

FERNÁNDEZ, J. E. Nuevo desarrollo tecnológico para la producción más limpia de trucha arco iris. Universidad del Valle, Cali, Colombia. Tesis Doctoral. 2014

FERNÁNDEZ, J; CAICEDO, J. Estanque MULTIPRO: Una alternativa para el control de los lodos en la producción de trucha. S.F

FERNÁNDEZ, J; CAICEDO, J. Estanque MULTIPRO versus estanque en tierra para la producción de trucha arco iris: reducción de contaminación, aumento de producción, uso más eficiente del agua. S.F

FONDEPES y AECI. Manual de cultivo de Trucha Arco Iris en Jaulas flotantes. Subproyecto “Programa de Transferencia de tecnología en acuicultura para pescadores artesanales y comunidades campesinas”. Lima, Perú. 2004. Disponible en: http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/manua_trucha_jaulas.pdf

FOY, R. H., & ROSELL, R. Fractionation of phosphorus and nitrogen loadings from a Northern Ireland fish farm. 1991.

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

GORDILLO DE ANDA, G. Revista de la CEPAL 83: Seguridad alimentaria y agricultura familiar. 2004. Disponible en:
<http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/19420/lcg2231egordillo.pdf>

GALLI, O.; SAL, F. Sistemas de Recirculación y Tratamiento de agua. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos CENADAC (Santa Ana- Corrientes). Argentina, 2007. Disponible en:
http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/01=cultivos/03-otros_sistemas/_archivos/000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf

HOYOS, D. Evaluación del Impacto de la Retención de Sólidos Suspendidos en los Estanques de Cultivo De Trucha Sobre la Calidad Fisicoquímica del Agua Para la Producción De Peces. Universidad del Valle, Cali, Colombia, 2011

HOYOS, D., FERNANDEZ J., CAICEDO J. R. Disolución de los lodos piscícolas y su efecto en la calidad del agua. Universidad del Valle, Cali, Colombia. Sf.

IICA; MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, Dirección de pesca y acuicultura. Agenda nacional de investigación en pesca y acuicultura. Bogotá, 2011.

IICA y COFUPRO. Producción de trucha Arco Iris en la zona serrada del Estado de Durando. Programa Elaboración De Casos De Éxito De Innovación En El

Sector Agroalimentario. México, 2010. Disponible en:
<http://www.redinnovagro.in/casosexito/20durangotrucha.pdf>

JOBLING, M. Environmental Biology of Fishes. Chapman and Hall Fish and fisheries series 16, citadoporYOVITA J. The effects of dissolved oxygen on fish growth in aquaculture. Kingolwira National Fish Farming Centre, Fisheries Division Ministry of Natural Resources and Tourism. Tanzania. 2007

JOVER, M; MARTÍNEZ, S.; TOMÁS, A., PÉREZ, L. Propuesta Metodológica Para El Diseño De Instalaciones Piscícolas. España, 2003. Disponible en:
http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/53-instalaciones.pdf

MALES, S; RIVERA, A. Validación del control de la contaminación y del uso del recurso hídrico generada por estanques MULTIPRO en la producción de trucha. Universidad del Cauca, Popayán , 2015.

MARTÍNEZ, J; GÓMEZ, C; ARANCETA, J; VILLAMARINO, A; MORENO, P; IGLESIAS, C; MUÑOZ, C; ORTUÑO, I; PONS, P; CÁCERES, M. Nutrición y salud: 6. El pescado en la dieta. Madrid, 2005. Disponible en:
http://www.nutricion.org/publicaciones/pdf/el_pescado.pdf

MAIZ, A.; VALERO, L.; BRICEÑO, D. Elementos Prácticos Para La Cría De Truchas En Venezuela. Venezuela, 2010. Disponible en:
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/31338/1/articulo5.pdf>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Plan nacional para el desarrollo de la acuicultura sostenible en Colombia. Bogotá, D.C. 2014. Disponible en
línea en:

http://www.aunap.gov.co/files/Plan_Nacional_para_el_Desarrollo_de_la_Acuicultura_a_Sostenible_-_Colombia.pdf

NÚÑEZ, P; SOMOZA, G. Guía de Buenas Prácticas de Producción Acuícola para Trucha Arco-iris. 2010. Disponible en línea en:

<http://www.senasa.gov.ar/Archivos/File/File3387-guia-debuenas-practicas-acuicolas.pdf>

LIAO, P.B. Waterrequirements of salmonids. Progressive Fish-Culturist, Citado por NÚÑEZ, P; SOMOZA, G. Guía de Buenas Prácticas de Producción Acuícola para Trucha Arco-iris. 2010. Disponible en línea en:

<http://www.senasa.gov.ar/Archivos/File/File3387-guia-debuenas-practicas-acuicolas.pdf>

OCA, J., MASLÓ, I., & REIG, L. Comparative analysis of flow patterns in aquaculture rectangular tanks with different water inlet characteristics. 2004

PANNÉ, S., LUCHINI, L. Análisis económico para producción de “trucha arco-iris” (para producciones a desarrollar en tierra). Proyecto “Incremento de actividad de acuicultura en las regiones NEA, NOA y Centro”. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina, 2012. Disponible en línea en :
[http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/10_Zonificaci%C3%B3n%20en%20Acuicultura/_archivos/120718_An%C3%A1lisis%20Econ%C3%B3mico%20de%20TRUCHA%20Arco-iris%20\(Producciones%20en%20tierra%20en%20las%20Provincias%20de%20Tucum%C3%A1n%20y%20Catamarca\).pdf?PHPSESSID=ad9a84f31a57cdcaa892d1053bf6abc1](http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/10_Zonificaci%C3%B3n%20en%20Acuicultura/_archivos/120718_An%C3%A1lisis%20Econ%C3%B3mico%20de%20TRUCHA%20Arco-iris%20(Producciones%20en%20tierra%20en%20las%20Provincias%20de%20Tucum%C3%A1n%20y%20Catamarca).pdf?PHPSESSID=ad9a84f31a57cdcaa892d1053bf6abc1)

PRADA, G. Tendencia de la Acuicultura Mundial y las Necesidades de Innovación de la Acuicultura Chilena. Chile.2010. Disponible en línea en:

http://biblioteca.cnic.cl/media/users/3/181868/files/18813/G_Parada_ACUI_final.pdf

ROMERO, J. Diseño de criaderos y cultivo de trucha y tilapia. Universidad del Callao. Lima, Perú, 2011. Disponible en:

http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Setiembre_2011/IF_ROMERO%20DEXTRE_FIPA/INFORME%20FINAL.pdf

SANDOVAL, L. Operación Y Mantenimiento Del Sistema Acuícola Con Reuso De Agua Residual Tratada Y Descarga Cero. México, 2013. Disponible en:

<http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/bitstream/123456789/924/1/TC-1308.1.pdf>

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

SINDILARIU, P. Reduction in effluent nutrient loads from flow-through facilities for trout production: a review. 2007.

SMART, G.R. Aspects of water quality producing stress in intensive fish culture. En: "Stress and Fish", Citado por NÚÑEZ, P; SOMOZA, G. Guía de Buenas Prácticas de Producción Acuícola para Trucha Arco-iris. 2010. Disponible en línea en:

<http://www.senasa.gov.ar/Archivos/File/File3387-guia-debuenas-practicas-acuicolas.pdf>

STEVENSON, J. Manual de cría de trucha., Citado por FERNÁNDEZ, J. E. Nuevo desarrollo tecnológico para la producción más limpia de trucha arco iris. Universidad del Valle, Cali, Colombia. Tesis Doctoral. 2014

UNIVERSIDAD DEL CAUCA, UNIVERSIDAD DEL VALLE. CENTRO REGIONAL DE PRODUCTIVIDAD DEL CAUCA, MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA. Proyecto estudio, diseño y evaluación de un prototipo de estanque piscícola. Informe final. 2010

YASNÓ VARILA, J. J., & GARCÍA RENDÓN, C. A. Selección y diseño de alternativas para el tratamiento de afluentes y efluentes del proceso de producción piscícola en el municipio de Silvia-Cauca. Cauca. 2007

YOVITA J. The effects of dissolved oxygen on fish growth in aquaculture. Kingolwira National Fish Farming Centre, Fisheries Division Ministry of Natural Resources and Tourism. Tanzania. 2007

ANEXO A

DATOS MEDIDOS EN CAMPO

Tabla A. 1. Peso promedio por biometría realizada

| ESTANQUE | BIOMETRÍAS PESO PROMEDIO (g) | | | | | | | | | | | | |
|----------|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 16/02/15 | 23/02/15 | 03/03/15 | 09/03/15 | 17/03/15 | 24/03/15 | 29/03/15 | 06/04/15 | 13/04/15 | 20/04/15 | 29/04/15 | 04/05/15 | 11/05/15 |
| 1 | 3,71 | 5,63 | | 4 | 5 | | | | 6,1 | 7,7 | | | |
| 2 | 3,81 | 5,3 | | 3,8 | 4,8 | | | | 6,8 | 7,9 | | | |
| 3 | | | 7,5 | | | | | | 12,4 | 16,3 | 9,5 | 14,1 | 15,6 |
| 4 | 15,3 | 18,51 | 7,5 | 9,5 | 14 | 7,2 | 8,81 | 10,5 | 12,8 | 17 | 8,4 | 15,8 | 16,4 |
| 5 | 15,3 | 19,5 | 6,5 | 10,7 | 14,8 | 6,6 | 8,1 | 10,4 | 12,9 | 57,3 | 17,4 | 24,5 | 31,9 |
| 6 | 48,5 | 58 | 23 | 28,82 | 35,7 | 17,8 | 22,6 | 25,3 | 37,5 | 44,9 | 19,1 | 48,3 | 33,9 |
| 7 | 92,4 | 147,2 | 71 | 79,2 | 100 | 18,2 | 23,6 | 26 | 79,8 | 173,2 | | 35,5 | 40,8 |
| 8 | 69,88 | 142,65 | 74,76 | 73,3 | 100 | 52,74 | 59,94 | 68,88 | 70,06 | 39,87 | 43,39 | 62,67 | 69,67 |
| 9 | 82,2 | | 56,125 | 168,4 | 205,8 | 52,7 | 59,9 | 68,8 | 175 | 175 | 50,2 | 68,7 | 82,5 |
| 10 | | 62,2 | 158,3 | 172,2 | 189 | 167,6 | 173,5 | 153,6 | 169,5 | 248 | 103 | 110 | 124 |
| 11 | 219,30 | 146,94 | 273,75 | 266,1 | 270,2 | 189,11 | 212,00 | 268,78 | 270,89 | 274,56 | 112,88 | 203,48 | 239,65 |
| 12 | 186,5 | 226,4 | 271 | 140,7 | 296,9 | 189,1 | 212 | 270,8 | 268,8 | 270,3 | 157,3 | 279 | |
| 13 | 219,2 | 257 | 284 | 229,0 | 348,3 | 205,7 | 222,8 | | 473,7 | | 150,7 | | 184 |
| 14 | 273,5 | 300 | 314 | 320,0 | 356 | 209,5 | 225,1 | 246,4 | 408,1 | | 218,6 | 350 | 360 |
| 15 | 336,81 | 374,19 | 440,10 | | | 338,33 | 341,43 | 465,63 | 473,75 | | 276,18 | 360,10 | 341,60 |
| 16 | 335,6 | 364,5 | 404 | | | 212,8 | 360,8 | 396,2 | | 471,3 | 487 | 258 | 392,2 |

Tabla A. 2. Caudales medidos

| FECHA DE MUESTREO | DIA | PISCÍCOLA | ESTANQUE 1 | ESTANQUE 2 | ESTANQUE 3 | ESTANQUE 4 | ESTANQUE 5 |
|-------------------|-----|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 26/01/2015 | 1 | 131,11 | 38,90 | 21,41 | 16,17 | 15,30 | 37,15 |
| 09/02/2015 | 2 | 100,91 | 29,94 | 16,48 | 12,45 | 11,77 | 28,59 |
| 17/02/2015 | 3 | 89,94 | 26,68 | 14,69 | 11,09 | 10,49 | 25,48 |
| 19/02/2015 | 4 | 93,91 | 27,86 | 15,34 | 11,58 | 10,96 | 26,61 |
| 24/02/2015 | 5 | 62,15 | 18,44 | 10,15 | 7,67 | 7,25 | 17,61 |
| 26/02/2015 | 6 | 85,37 | 25,33 | 13,94 | 10,53 | 9,96 | 24,19 |
| 03/03/2015 | 7 | 87,88 | 26,07 | 14,35 | 10,84 | 10,25 | 24,90 |
| 05/03/2015 | 8 | 131,55 | 39,03 | 21,49 | 16,22 | 15,35 | 37,27 |
| 12/03/2015 | 9 | 110,81 | 32,87 | 18,10 | 13,67 | 12,93 | 31,39 |
| 19/03/2015 | 10 | 109,10 | 32,37 | 17,82 | 13,46 | 12,73 | 30,91 |
| 26/03/2015 | 11 | 116,84 | 34,66 | 19,08 | 14,41 | 13,63 | 33,10 |
| 31/03/2015 | 12 | 112,23 | 33,30 | 18,33 | 13,84 | 13,09 | 31,80 |
| 09/04/2015 | 13 | 145,10 | 43,05 | 23,70 | 17,90 | 16,93 | 41,11 |
| 16/04/2015 | 14 | 119,85 | 35,56 | 19,58 | 14,78 | 13,98 | 33,96 |
| 21/04/2015 | 15 | 108,64 | 32,23 | 17,74 | 13,40 | 12,67 | 30,78 |
| 23/04/2015 | 16 | 82,79 | 24,56 | 13,52 | 10,21 | 9,66 | 23,46 |
| 28/04/2015 | 17 | 124,99 | 37,08 | 20,42 | 15,42 | 14,58 | 35,41 |
| 30/04/2015 | 18 | 165,9 | 49,22 | 27,10 | 20,46 | 19,36 | 47,01 |
| 05/05/2015 | 19 | 154,05 | 45,70 | 25,16 | 19,00 | 17,97 | 43,65 |
| 07/05/2015 | 20 | 155,99 | 46,28 | 25,48 | 19,24 | 18,20 | 44,20 |
| 12/05/2015 | 21 | 141,54 | 41,99 | 23,12 | 17,46 | 16,51 | 40,10 |
| 14/05/2015 | 22 | 129,45 | 38,40 | 21,14 | 15,97 | 15,10 | 36,68 |

Tabla A. 3. Biomasa y densidad para rango de peso de 6,5 a 16 g

| RANGO DE 6,5-16 g | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------|---------|-----------------------|------------------|
| ESTANQUE | FECHA DE BIOMETRIA | FECHA DE MUESTREO | PESO PROMEDIO (g) | # PECES | BIOMASA | VOLUMEN ESTANQUE (m3) | DENSIDAD (kg/m3) |
| 3 (T1) | 23/02/15 | 0 | 7,58 | 3096 | 23,47 | 10,87 | |
| | 03/03/15 | 7 | 9,63 | 3006 | 28,96 | 10,87 | |
| | 09/03/15 | 14 | 14,03 | 2981 | 41,83 | 10,87 | 3,85 |
| 3 (T1) | 17/03/15 | 0 | 7,23 | 3100 | 22,42 | 10,87 | |
| | 24/03/15 | 7 | 8,85 | 2870 | 25,39 | 10,87 | |
| | 29/03/15 | 14 | 10,52 | 2820 | 29,68 | 10,87 | |
| | 06/04/15 | 21 | 12,40 | 2890 | 35,83 | 10,87 | |
| | 13/04/15 | 28 | 17,04 | 2236 | 38,09 | 10,87 | 3,50 |
| 3 (T1) | 20/04/15 | 0 | 8,47 | 3100 | 26,25 | 10,87 | |
| | 29/04/15 | 7 | 15,27 | 2201 | 33,62 | 10,87 | |
| | 04/05/15 | 14 | 16,45 | 2190 | 36,04 | 10,87 | |
| | 12/05/15 | 21 | 20,55 | 2190 | 44,99 | 10,87 | 4,14 |
| 4 (T2) | 23/02/15 | 0 | 6,53 | 3002 | 19,61 | 10,87 | |
| | 03/03/15 | 7 | 10,73 | 3002 | 32,22 | 10,87 | |
| | 09/03/15 | 14 | 14,80 | 3295 | 48,77 | 10,87 | 4,49 |
| 4 (T2) | 17/03/15 | 0 | 6,63 | 3095 | 20,53 | 10,87 | |
| | 24/03/15 | 7 | 8,15 | 2711 | 22,09 | 10,87 | |
| | 29/03/15 | 12 | 10,44 | 2705 | 28,25 | 10,87 | |
| | 06/04/15 | 20 | 12,89 | 2249 | 28,99 | 10,87 | 2,67 |

Tabla A. 4. Biomasa y densidad para rango de peso de 17 a 50 g

| RANGO DE 17-50 g | | | | | | | |
|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------|---------|-----------------------|------------------|
| ESTANQUE | FECHA DE BIOMETRIA | FECHA DE MUESTREO | PESO PROMEDIO (g) | # PECES | BIOMASA | VOLUMEN ESTANQUE (m3) | DENSIDAD (kg/m3) |
| 4 (T2) | 20/04/15 | 0 | 17,41 | 2860 | 49,80 | 10,87 | |
| | 29/04/15 | 9 | 24,54 | 2617 | 64,22 | 10,87 | |
| | 04/05/15 | 14 | 31,92 | 2600 | 83,00 | 10,87 | |
| | 12/05/15 | 22 | 41,23 | 2600 | 107,20 | 10,87 | 9,86 |
| 6 | 23/02/15 | 0 | 23,00 | 2843 | 65,39 | 10,87 | |
| | 03/03/15 | 8 | 28,00 | 2550 | 71,40 | 10,87 | |
| | 09/03/15 | 14 | 35,70 | 2546 | 90,89 | 10,87 | 8,36 |
| 6 | 29/03/15 | 0 | 25,30 | 2960 | 74,89 | 10,87 | |
| | 06/04/15 | 8 | 37,50 | 2828 | 106,05 | 10,87 | |
| | 13/04/15 | 15 | 44,90 | 2820 | 126,62 | 10,87 | 11,65 |

Tabla A. 5. Biomasa y densidad para rango de peso de 51 a 70 g

| RANGO DE 51-70 g | | | | | | | |
|------------------|--------------------|------|-------------------|---------|---------|-----------------------|------------------|
| ESTANQUE | FECHA DE BIOMETRIA | DIAS | PESO PROMEDIO (g) | # PECES | BIOMASA | VOLUMEN ESTANQUE (m3) | DENSIDAD (kg/m3) |
| 8 (T3) | 17/3/15 | 0 | 52,74 | 2836 | 149,58 | 16,3 | |
| | 24/3/15 | 7 | 59,94 | 2830 | 169,63 | 16,3 | |
| | 29/3/15 | 12 | 68,88 | 2830 | 194,94 | 16,3 | |
| | 6/4/15 | 21 | 70,06 | 2828 | 198,13 | 16,3 | 12,15 |
| 9 | 20/4/15 | 0 | 50,20 | 2800 | 140,56 | 16,3 | |
| | 29/4/15 | 9 | 68,70 | 2800 | 192,36 | 16,3 | |
| | 4/5/15 | 14 | 82,50 | 2795 | 230,59 | 16,3 | |
| | 11/5/15 | 21 | 91,40 | 2795 | 255,46 | 16,3 | 15,67 |
| 8 (T3) | 20/4/15 | 0 | 43,39 | 2506 | 108,73 | 16,3 | |
| | 29/4/15 | 9 | 62,67 | 2506 | 157,04 | 16,3 | |
| | 4/5/15 | 14 | 64,67 | 2500 | 161,67 | 16,3 | |
| | 12/5/15 | 22 | 84,27 | 2500 | 210,67 | 16,3 | 12,92 |

Tabla A. 6. Biomasa y densidad para rango de peso de 71 a 100 g

| RANGO DE 71-100g | | | | | | | |
|------------------|--------------------|------|-------------------|---------|---------|-----------------------|------------------|
| ESTANQUE | FECHA DE BIOMETRIA | DIAS | PESO PROMEDIO (g) | # PECES | BIOMASA | VOLUMEN ESTANQUE (m3) | DENSIDAD (kg/m3) |
| 8 (T3) | 23/2/15 | 0 | 74,76 | 2213 | 165,43 | 16,3 | |
| | 3/3/15 | 8 | 73,29 | 2213 | 162,19 | 16,3 | |
| | 9/3/15 | 14 | 100,08 | 2226 | 222,77 | 16,3 | 13,667 |
| 9 | 23/2/15 | 0 | 75,00 | 2213 | 165,98 | 16,3 | |
| | 3/3/15 | 8 | 79,20 | 2213 | 175,27 | 16,3 | |
| | 9/3/15 | 14 | 109,00 | 2185 | 238,17 | 16,3 | 14,611 |

Tabla A. 7. Biomasa y densidad para rango de peso de 71 a 190 g

| RANGO DE 71-190g | | | | | | | |
|------------------|--------------------|------|-------------------|---------|---------|-----------------------|------------------|
| ESTANQUE | FECHA DE BIOMETRIA | DIAS | PESO PROMEDIO (g) | # PECES | BIOMASA | VOLUMEN ESTANQUE (m3) | DENSIDAD (kg/m3) |
| 12 | 9/3/15 | 0 | 100,00 | 2212 | 221,2 | 18,11 | |
| | 17/3/15 | 8 | 125,20 | 2210 | 276,692 | 18,11 | |
| | 24/3/15 | 14 | 135,00 | 2200 | 297 | 18,11 | 16,40 |
| 10 | 20/4/15 | 0 | 103,00 | 2500 | 257,5 | 16,3 | |
| | 29/4/15 | 9 | 110,00 | 2500 | 275 | 16,3 | |
| | 4/5/15 | 14 | 124,00 | 2490 | 308,76 | 16,3 | |
| | 11/5/15 | 21 | 155,00 | 2490 | 385,95 | 16,3 | 23,68 |

Tabla A. 8. Biomasa y densidad para rango de peso de 191 a 330 g

| RANGO DE 191-330g | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|------|-------------------|---------|---------|-----------------------|------------------|
| ESTANQUE | FECHA DE BIOMETRIA | DIAS | PESO PROMEDIO (g) | # PECES | BIOMASA | VOLUMEN ESTANQUE (m3) | DENSIDAD (kg/m3) |
| 11 (T4) | 17/03/15 | 0 | 189,11 | 1500 | 283,67 | 18,11 | |
| | 24/03/15 | 7 | 212,00 | 1500 | 318,00 | 18,11 | |
| | 29/03/15 | 14 | 268,78 | 1500 | 403,17 | 18,11 | |
| | 06/04/15 | 21 | 270,89 | 1496 | 405,25 | 18,11 | |
| | 13/04/15 | 28 | 274,56 | 1498 | 411,28 | 18,11 | 22,71 |

Tabla A. 9. Biomasa y densidad para rango de peso de 331 a 480 g

| RANGO DE 331-480g | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|------|-------------------|---------|---------|-----------------------|------------------|
| ESTANQUE | FECHA DE BIOMETRIA | DIAS | PESO PROMEDIO (g) | # PECES | BIOMASA | VOLUMEN ESTANQUE (m3) | DENSIDAD (kg/m3) |
| 15 (T5) | 9/2/15 | 0 | 336,81 | 1508 | 507,90 | 47,34 | |
| | 16/2/15 | 7 | 374,19 | 1508 | 564,28 | 47,34 | |
| | 23/2/15 | 14 | 440,10 | 1457 | 641,23 | 47,34 | 13,55 |
| 15 (T5) | 17/3/15 | 0 | 338,33 | 1500 | 507,50 | 47,34 | |
| | 24/3/15 | 7 | 341,43 | 2100 | 717,00 | 47,34 | |
| | 29/3/15 | 14 | 465,63 | 2100 | 977,83 | 47,34 | |
| | 6/4/15 | 21 | 473,75 | 2000 | 947,49 | 47,34 | 20,01 |

ANEXO B

PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA

Anexo B.1. Oxígeno disuelto medido en cinco puntos escogidos de los estanques

Tabla B 1. 1 Oxígeno disuelto medido en los estanques T1 y T2

| OXIGENO DISUELTO (mg/L) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------|-------|----------|
| FECHA | DIA | PUNTO ESTANQUE T1 | | | | | PUNTO ESTANQUE T2 | | | | |
| | | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE |
| 26/1/15 | 1 | | | | | | | | | | |
| 9/2/15 | 2 | 7,46 | 7,38 | 7,35 | 7,4 | 7,49 | 7,55 | 7,33 | 7,31 | 7,32 | 7,4 |
| 17/2/15 | 3 | 7,74 | 7,5 | 7,53 | 7,54 | 7,58 | 7,63 | 7,55 | 7,51 | 7,52 | 7,52 |
| 19/2/15 | 4 | 7,37 | 7,31 | 7,42 | 7,4 | 7,28 | 7,64 | 7,41 | 7,4 | 7,39 | 7,3 |
| 24/2/15 | 5 | 7,8 | 7,57 | 7,53 | 7,53 | 7,3 | 7,85 | 7,58 | 7,58 | 7,64 | 7,39 |
| 26/2/15 | 6 | 7,63 | 7,76 | 7,67 | 7,72 | 7,45 | 7,8 | 7,75 | 7,74 | 7,73 | 7,59 |
| 3/3/15 | 7 | 7,54 | 7,48 | 7,47 | 7,5 | 7,26 | 7,6 | 7,57 | 7,54 | 7,56 | 7,4 |
| 5/3/15 | 8 | 7,75 | 7,64 | 7,67 | 7,71 | 7,53 | 7,78 | 7,82 | 7,83 | 7,83 | 7,56 |
| 12/3/15 | 9 | 7,62 | 7,41 | 7,39 | 7,45 | 7,04 | 7,66 | 7,59 | 7,57 | 7,59 | 7,37 |
| 19/3/15 | 10 | 7,79 | 7,59 | 7,59 | 7,64 | 7,58 | 7,86 | 7,97 | 7,96 | 7,98 | 7,64 |
| 26/3/15 | 11 | 8,07 | 8,01 | 8,01 | 8,02 | 7,77 | 8,07 | 8,04 | 8,03 | 8,02 | 7,94 |
| 31/3/15 | 12 | 7,92 | 7,91 | 7,95 | 7,96 | 8,09 | 8,07 | 7,96 | 7,97 | 7,98 | 8,05 |
| 9/4/15 | 13 | 7,69 | 7,72 | 7,7 | 7,75 | 7,81 | 7,89 | 7,2 | 7,32 | 7,21 | 7,77 |
| 16/4/15 | 14 | 7,62 | 7,48 | 7,53 | 7,56 | 7,6 | 7,72 | 7,1 | 7,16 | 7,17 | 7,41 |
| 21/4/15 | 15 | | | | | | | | | | |
| 23/4/15 | 16 | | | | | | | | | | |
| 28/4/15 | 17 | 7,66 | 7,63 | 7,7 | 7,73 | 7,74 | 7,83 | 7,68 | 7,68 | 7,71 | 7,72 |
| 30/4/15 | 18 | 7,73 | 7,73 | 7,74 | 7,77 | 7,79 | 7,87 | 7,8 | 7,79 | 7,75 | 7,78 |
| 5/5/15 | 19 | 7,98 | 7,85 | 7,83 | 7,82 | 7,84 | 7,74 | 7,5 | 7,56 | 7,58 | 7,72 |
| 7/5/15 | 20 | 7,8 | 7,7 | 7,65 | 7,67 | 7,66 | 7,61 | 7,35 | 7,39 | 7,35 | 7,6 |
| 12/5/15 | 21 | 7,44 | 7,26 | 7,28 | 7,32 | 7,38 | 7,54 | 7,24 | 7,26 | 7,26 | 7,29 |
| 14/5/15 | 22 | 7,57 | 7,34 | 7,41 | 7,47 | 7,49 | 7,73 | 7,19 | 7,31 | 7,17 | 7,47 |

Tabla B 1. 2.Oxígeno disuelto medido en los estanques T3, T4 y T5

| OXIGENO DISUELTO (mg/L) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------|-------|----------|
| FECHA | DIA | PUNTO ESTANQUE T3 | | | | | PUNTO ESTANQUE T4 | | | | | PUNTO ESTANQUE T5 | | | | |
| | | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE |
| 26/1/15 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9/2/15 | 2 | 7,26 | 6,81 | 6,44 | 6,54 | 6,67 | 7,32 | 5,33 | 5,43 | 4,76 | 6,48 | 6,43 | 5,78 | 5,87 | 5,81 | 6,32 |
| 17/2/15 | 3 | 7,5 | 6,81 | 6,55 | 6,53 | 6,68 | 7,28 | 6,79 | 6,75 | 6,73 | 6,7 | 6,73 | 6,05 | 6,05 | 5,99 | 6,35 |
| 19/2/15 | 4 | 7,05 | 6,73 | 6,28 | 6,13 | 6,11 | 7,18 | 5,02 | 5,16 | 4,63 | 6,74 | 6,22 | 5,36 | 5,46 | 5,19 | 5,96 |
| 24/2/15 | 5 | 7,73 | 7,51 | 7,43 | 7,37 | 7,37 | 7,31 | 5,77 | 7,81 | 5,29 | 6,85 | 6,59 | 5,75 | 5,78 | 5,72 | 6,24 |
| 26/2/15 | 6 | 7,59 | 7,28 | 7,19 | 7,11 | 7,16 | 7,6 | 5,91 | 5,94 | 5,33 | 6,75 | 6,48 | 5,99 | 5,83 | 5,71 | 6,51 |
| 3/3/15 | 7 | 7,27 | 7,09 | 6,96 | 6,86 | 6,87 | 7,26 | 5,75 | 5,88 | 5,66 | 6,47 | 6,3 | 6,42 | 6,46 | 6,46 | 6,47 |
| 5/3/15 | 8 | 7,49 | 7,32 | 7,11 | 6,98 | 7,05 | 7,56 | 6 | 5,89 | 5,59 | 6,59 | 6,44 | 6,72 | 6,72 | 6,74 | 6,55 |
| 12/3/15 | 9 | 7,33 | 7,02 | 6,85 | 6,7 | 6,85 | 7,36 | 4,92 | 4,96 | 4,34 | 6,32 | 6,24 | 6,53 | 6,55 | 6,56 | 6,84 |
| 19/3/15 | 10 | 7,7 | 7,06 | 7,21 | 7,13 | 7,45 | 7,75 | 6,53 | 6,69 | 6,43 | 6,99 | 6,92 | 6,33 | 6,34 | 6,31 | 6,93 |
| 26/3/15 | 11 | 7,92 | 7 | 7,15 | 7,03 | 7,51 | 7,91 | 6,14 | 6,06 | 5,89 | 7,03 | 6,95 | 5,27 | 5,2 | 5,15 | 7,12 |
| 31/3/15 | 12 | 7,94 | 7,04 | 7,09 | 7,06 | 7,56 | 7,97 | 6,55 | 6,64 | 6,15 | 7,04 | 7,03 | 6,58 | 6,56 | 6,49 | 7,01 |
| 9/4/15 | 13 | 7,78 | 7,11 | 7,12 | 7,5 | 7,51 | 7,74 | 6,35 | 6,46 | 6,17 | 6,17 | 6,9 | 6,1 | 6,24 | 6,12 | 6,87 |
| 16/4/15 | 14 | 7,55 | 7,2 | 7,05 | 6,88 | 7,1 | 7,53 | 7,6 | 7,61 | 7,62 | 7,13 | 7 | 5,93 | 5,94 | 6,61 | 6,89 |
| 21/4/15 | 15 | 7,38 | 6,79 | 6,86 | 6,86 | 6,9 | 7,67 | 5,22 | 5,16 | 4,94 | 6,79 | 6,63 | 5,55 | 5,54 | 5,31 | 6,3 |
| 23/4/15 | 16 | 7,71 | 6,6 | 6,61 | 6,45 | 7,48 | 7,67 | 6,02 | 6,27 | 5,89 | 7,08 | 6,65 | 5,96 | 5,97 | 5,77 | 6,6 |
| 28/4/15 | 17 | 7,78 | 7,53 | 7,35 | 7,2 | 7,66 | 7,72 | 6,63 | 6,79 | 6,45 | 7,26 | 7,3 | 6,43 | 6,25 | 6,18 | 6,57 |
| 30/4/15 | 18 | 7,25 | 7,78 | 7,42 | 7,26 | 7,66 | 7,8 | 7,05 | 7,12 | 6,96 | 7,35 | 7,26 | 6,72 | 6,75 | 6,7 | 6,99 |
| 5/5/15 | 19 | 7,76 | 7,36 | 7,09 | 7,12 | 7,53 | 7,15 | 6,5 | 6,59 | 6,39 | 6,82 | 7,15 | 6,5 | 6,59 | 6,39 | 6,82 |
| 7/5/15 | 20 | 7,58 | 7,29 | 7,19 | 7,06 | 7,4 | 7,54 | 6,35 | 6,44 | 6,34 | 7,1 | 6,91 | 6,26 | 6,05 | 6,01 | 6,56 |
| 12/5/15 | 21 | 7,43 | 6,74 | 6,68 | 6,47 | 7,24 | 7,41 | 5,67 | 5,74 | 5,52 | 6,64 | 6,57 | 5,8 | 5,87 | 5,7 | 6,34 |
| 14/5/15 | 22 | 7,5 | 7,22 | 7,05 | 6,98 | 7,32 | 7,49 | 4,79 | 4,74 | 4,35 | 6,74 | 6,69 | 5,77 | 5,99 | 5,67 | 6,39 |

Anexo B.2. Temperatura medida en cinco puntos escogidos de los estanques T1, T2, T3, T4 y T5.

Tabla B 2. 1. Temperatura medida en los estanques T1 y T2

| TEMPERATURA (°C) | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------|-------|----------|
| FECHA | DIA | PUNTO ESTANQUE T1 | | | | | PUNTO ESTANQUE T2 | | | | |
| | | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE |
| 26/1/15 | 1 | | | | | | | | | | |
| 9/2/15 | 2 | 15,9 | 16 | 16,1 | 16,1 | 15,9 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 16,0 |
| 17/2/15 | 3 | 15,1 | 14,8 | 14,8 | 14,8 | 15,6 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 |
| 19/2/15 | 4 | 17 | 16,2 | 15,9 | 15,9 | 15,9 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 15,8 |
| 24/2/15 | 5 | 14,4 | 14,2 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,2 | 14,2 | 14,6 | 14,5 | 14,1 |
| 26/2/15 | 6 | 14,9 | 14,4 | 14,8 | 14,6 | 14,5 | 14,5 | 14,4 | 14,4 | 14,4 | 14,4 |
| 3/3/15 | 7 | 15,6 | 15,2 | 15,2 | 15,4 | 15,2 | 15,4 | 15,4 | 15,4 | 15,4 | 15,4 |
| 5/3/15 | 8 | 14,7 | 14,4 | 14,2 | 14,1 | 14,1 | 14,6 | 14,2 | 14,4 | 14,3 | 14,4 |
| 12/3/15 | 9 | 15,2 | 15 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 |
| 19/3/15 | 10 | 14,2 | 13,9 | 13,7 | 13,7 | 13,7 | 14,2 | 13,9 | 13,9 | 13,9 | 13,9 |
| 26/3/15 | 11 | 13,6 | 13,6 | 13,7 | 13,6 | 13,6 | 13,6 | 13,5 | 13,6 | 13,6 | 13,7 |
| 31/3/15 | 12 | 13,9 | 13,7 | 13,5 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 13,4 |
| 9/4/15 | 13 | 14,9 | 14,5 | 14,5 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,3 |
| 16/4/15 | 14 | 15,3 | 15,1 | 15 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,8 | 14,9 | 14,9 | 14,9 |
| 21/4/15 | 15 | | | | | | | | | | |
| 23/4/15 | 16 | | | | | | | | | | |
| 28/4/15 | 17 | 15,1 | 14,9 | 14,6 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 |
| 30/4/15 | 18 | 14,7 | 14,4 | 14,2 | 14,2 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 |
| 5/5/15 | 19 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 15 | 14,9 | 14,8 | 14,8 | 14,7 |
| 7/5/15 | 20 | 14,9 | 14,9 | 14,8 | 14,8 | 14,8 | 15,8 | 15 | 15,5 | 15,4 | 15,5 |
| 12/5/15 | 21 | 16,3 | 16,2 | 16 | 16 | 15,9 | 16 | 15,9 | 15,9 | 15,9 | 15,9 |
| 14/5/15 | 22 | 15,2 | 14,9 | 14,6 | 14,5 | 14,7 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 |

Tabla B 2. 2.Temperatura medida en los estanques T3, T4 y T5

| TEMPERATURA (°C) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------|-------|----------|
| FECHA | DIA | PUNTO ESTANQUE T3 | | | | | PUNTO ESTANQUE T4 | | | | | PUNTO ESTANQUE T5 | | | | |
| | | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE |
| 26/1/15 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9/2/15 | 2 | 15,9 | 16 | 16,1 | 16,1 | 15,9 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 16,0 | 16,1 | 16,1 | 16,1 | 16,1 | 16,1 |
| 17/2/15 | 3 | 15,1 | 14,8 | 14,8 | 14,8 | 15,6 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,3 | 15,7 | 15,3 | 15,4 | 15,5 | 15,7 |
| 19/2/15 | 4 | 17 | 16,2 | 15,9 | 15,9 | 15,9 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 16,9 | 16,8 | 16,7 | 16,7 | 16,7 |
| 24/2/15 | 5 | 14,4 | 14,2 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,2 | 14,2 | 14,6 | 14,5 | 14,1 | 15,2 | 14,7 | 14,6 | 14,6 | 14,7 |
| 26/2/15 | 6 | 14,9 | 14,4 | 14,8 | 14,6 | 14,5 | 14,5 | 14,4 | 14,4 | 14,4 | 14,4 | 15,5 | 15,1 | 15,1 | 15 | 15,1 |
| 3/3/15 | 7 | 15,6 | 15,2 | 15,2 | 15,4 | 15,2 | 15,4 | 15,4 | 15,4 | 15,4 | 15,4 | 16 | 15,9 | 15,8 | 15,8 | 15,9 |
| 5/3/15 | 8 | 14,7 | 14,4 | 14,2 | 14,1 | 14,1 | 14,6 | 14,2 | 14,4 | 14,3 | 14,4 | 14,5 | 14,5 | 14,4 | 14,5 | 14,5 |
| 12/3/15 | 9 | 15,2 | 15 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 16,1 | 15,5 | 15,3 | 15,3 | 15,3 |
| 19/3/15 | 10 | 14,2 | 13,9 | 13,7 | 13,7 | 13,7 | 14,2 | 13,9 | 13,9 | 13,9 | 13,9 | 14,2 | 14,2 | 14,2 | 14,2 | 14,2 |
| 26/3/15 | 11 | 13,6 | 13,6 | 13,7 | 13,6 | 13,6 | 13,6 | 13,5 | 13,6 | 13,6 | 13,7 | 13,8 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,9 |
| 31/3/15 | 12 | 13,9 | 13,7 | 13,5 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 13,4 | 13,7 | 13,7 | 13,6 | 13,7 | 13,8 |
| 9/4/15 | 13 | 14,9 | 14,5 | 14,5 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,3 | 14,4 | 14,4 | 14,4 | 14,4 | 14,4 |
| 16/4/15 | 14 | 15,3 | 15,1 | 15 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,8 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 15,2 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 15,1 |
| 21/4/15 | 15 | | | | | | | | | | | 16,2 | 15,6 | 15,4 | 15,3 | 15,4 |
| 23/4/15 | 16 | | | | | | | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 28/4/15 | 17 | 15,1 | 14,9 | 14,6 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 15,5 | 15 | 15 | 14,9 | 14,9 |
| 30/4/15 | 18 | 14,7 | 14,4 | 14,2 | 14,2 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,3 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 14,2 |
| 5/5/15 | 19 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 15 | 14,9 | 14,8 | 14,8 | 14,7 | 14,8 | 14,8 | 14,7 | 14,8 | 14,8 |
| 7/5/15 | 20 | 14,9 | 14,9 | 14,8 | 14,8 | 14,8 | 15,8 | 15 | 15,5 | 15,4 | 15,5 | 15,8 | 15,7 | 15,6 | 15,6 | 15,7 |
| 12/5/15 | 21 | 16,3 | 16,2 | 16 | 16 | 15,9 | 16 | 15,9 | 15,9 | 15,9 | 15,9 | 15,9 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 15,8 |
| 14/5/15 | 22 | 15,2 | 14,9 | 14,6 | 14,5 | 14,7 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,4 | 14,4 | 14,4 | 14,4 |

Anexo B.3. Oxígeno de saturación medido en cinco puntos escogidos de los estanques T1, T2, T3, T4 y T5.

Tabla B 3. 1.Oxígeno de saturación medido en los estanques T1 y T2

| OXÍGENO DISUELTTO DE SATURACIÓN (%) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------|-------|----------|
| FECHA | DIA | PUNTO ESTANQUE T1 | | | | | PUNTO ESTANQUE T2 | | | | |
| | | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE |
| 26/1/15 | 1 | | | | | | | | | | |
| 9/2/15 | 2 | 101,3 | 99,5 | 98,9 | 99,7 | 100,1 | 101,6 | 98,6 | 98,4 | 98,7 | 99,8 |
| 17/2/15 | 3 | 102,3 | 98,6 | 98,9 | 99,1 | 99,6 | 102,1 | 100,9 | 99,8 | 100 | 100 |
| 19/2/15 | 4 | 101,7 | 98,9 | 99,9 | 99,5 | 97,9 | 102,6 | 99,4 | 99,3 | 99,1 | 98 |
| 24/2/15 | 5 | 106,6 | 98,2 | 97,5 | 97,5 | 94,5 | 101,8 | 98,3 | 99,3 | 99,8 | 95,8 |
| 26/2/15 | 6 | 101,8 | 101 | 100,9 | 101,1 | 97,5 | 101,9 | 101,1 | 100,9 | 101 | 98,9 |
| 3/3/15 | 7 | 101,1 | 99,3 | 99,3 | 99,4 | 96,4 | 101,3 | 100,9 | 100,4 | 100,8 | 98,7 |
| 5/3/15 | 8 | 101,8 | 99,6 | 99,6 | 99,9 | 97,5 | 102 | 102,1 | 102 | 102,1 | 98,6 |
| 12/3/15 | 9 | 101 | 97,9 | 97,6 | 98,2 | 92,8 | 101 | 99,9 | 99,8 | 100 | 97,1 |
| 19/3/15 | 10 | 100,8 | 97,6 | 97,2 | 97,7 | 96,9 | 101,5 | 102,4 | 102,3 | 102,5 | 98,1 |
| 26/3/15 | 11 | 103,1 | 102,3 | 102,5 | 102,5 | 99,3 | 103,2 | 102,7 | 102,5 | 102,4 | 102,3 |
| 31/3/15 | 12 | 101,8 | 101,1 | 101,1 | 101,2 | 102,7 | 102,6 | 101,1 | 101,2 | 101,3 | 102,2 |
| 9/4/15 | 13 | 101,4 | 100,8 | 100,5 | 100,9 | 101,6 | 101,6 | 102,7 | 93,5 | 95,2 | 93,7 |
| 16/4/15 | 14 | 101,1 | 99 | 99,2 | 99,3 | 99,9 | 101,5 | 93,2 | 94,2 | 99,2 | 97,4 |
| 21/4/15 | 15 | | | | | | | | | | |
| 23/4/15 | 16 | | | | | | | | | | |
| 28/4/15 | 17 | 101,2 | 100,5 | 100,8 | 100,9 | 101,1 | 102,2 | 100,2 | 100,3 | 100,7 | 100,8 |
| 30/4/15 | 18 | 101,2 | 100,6 | 100,3 | 100,6 | 100,9 | 101,9 | 101 | 100,8 | 100,3 | 100,7 |
| 5/5/15 | 19 | 102,6 | 101,2 | 100,9 | 100,8 | 101,1 | 102,2 | 98,7 | 99,3 | 99,5 | 101,1 |
| 7/5/15 | 20 | 101,9 | 101,7 | 100,7 | 100,9 | 100,6 | 102,3 | 98,4 | 98,6 | 98 | 100,2 |
| 12/5/15 | 21 | 101 | 98,6 | 98,5 | 98,9 | 99,6 | 101,9 | 97 | 98 | 98,2 | 98,4 |
| 14/5/15 | 22 | 100,4 | 96,8 | 97,1 | 97,8 | 98,5 | 101,2 | 94 | 95,6 | 93,7 | 97,7 |

Tabla B 3. 2. Oxígeno de saturación medido en los estanques T3, T4 y T5

| OXÍGENO DISUELTO DE SATURACIÓN (%) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------|-------|----------|
| FECHA | DIA | PUNTO ESTANQUE T3 | | | | | PUNTO ESTANQUE T4 | | | | | PUNTO ESTANQUE T5 | | | | |
| | | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE |
| 26/1/15 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9/2/15 | 2 | 98 | 91,9 | 87 | 88,2 | 89,9 | 98,7 | 71,7 | 72 | 63,9 | 87,3 | 87 | 78,1 | 79,3 | 78,5 | 85,4 |
| 17/2/15 | 3 | 99,8 | 93,1 | 89,3 | 89,1 | 90,9 | 99,8 | 92,1 | 91,2 | 91,2 | 91,6 | 90,3 | 80,6 | 80,5 | 80 | 80,4 |
| 19/2/15 | 4 | 97,1 | 89,5 | 86,2 | 84 | 83,6 | 97,6 | 67,5 | 69,4 | 62,1 | 96,8 | 85,6 | 73,6 | 78,4 | 71,1 | 81,6 |
| 24/2/15 | 5 | 101 | 98,5 | 97,2 | 96,2 | 96,1 | 99,8 | 74,4 | 75,8 | 68,7 | 89,5 | 87,4 | 75,4 | 75,8 | 79,9 | 81,9 |
| 26/2/15 | 6 | 100,4 | 95,5 | 94 | 92,9 | 93,5 | 99,6 | 77,3 | 77,6 | 69,6 | 88,4 | 86,6 | 79,2 | 77,1 | 75,5 | 86,2 |
| 3/3/15 | 7 | 98,4 | 95,3 | 93,5 | 90 | 92,3 | 99 | 77,6 | 79,2 | 75,3 | 87,2 | 85 | 86,5 | 86,9 | 86,9 | 87 |
| 5/3/15 | 8 | 99,1 | 96 | 93 | 91,3 | 92,1 | 98,9 | 78,3 | 76,8 | 73 | 86,2 | 84,3 | 87,7 | 87,7 | 88 | 85,6 |
| 12/3/15 | 9 | 97,4 | 93 | 90,6 | 88,6 | 90,4 | 97,3 | 64,9 | 65,4 | 67,3 | 83,5 | 84,4 | 87,3 | 87,2 | 87,2 | 91 |
| 19/3/15 | 10 | 100,2 | 91,2 | 93,3 | 92,1 | 96,3 | 100,3 | 84,4 | 86,4 | 83,2 | 90,4 | 89,5 | 81,8 | 82 | 81,6 | 89,6 |
| 26/3/15 | 11 | 101,4 | 89,5 | 91,4 | 89,7 | 96 | 101,3 | 78,4 | 77,6 | 75,3 | 90,1 | 89,1 | 67,2 | 66,3 | 65,6 | 91,7 |
| 31/3/15 | 12 | 101,6 | 89,8 | 90,4 | 90 | 96,3 | 101,9 | 84,2 | 84,8 | 78,4 | 89,9 | 90,1 | 84,1 | 83,8 | 83 | 89,8 |
| 9/4/15 | 13 | 101,2 | 92,2 | 92,5 | 97,5 | 96 | 101,1 | 82,8 | 84,1 | 80,3 | 80,2 | 89,9 | 79,4 | 87,2 | 79,8 | 89,5 |
| 16/4/15 | 14 | 99,4 | 94,4 | 94,7 | 92,7 | 90,6 | 93,4 | 99,3 | 100,2 | 100,5 | 100,5 | 94,1 | 92,9 | 78,2 | 78,2 | 91,1 |
| 21/4/15 | 15 | 99,7 | 89,7 | 90,3 | 90,2 | 98 | 101,1 | 68,7 | 67,8 | 64,9 | 89,3 | 89,8 | 74,1 | 73,6 | 70,5 | 83,8 |
| 23/4/15 | 16 | 102,9 | 87 | 86,9 | 84,6 | 98,2 | 101,8 | 79,7 | 82,9 | 77,8 | 93,6 | 87,9 | 78,6 | 78,8 | 76,1 | 87,2 |
| 28/4/15 | 17 | 101,7 | 98,4 | 96,1 | 94 | 100 | 101,5 | 86,9 | 89 | 84,5 | 95,1 | 97,6 | 85 | 82,6 | 81,6 | 86,6 |
| 30/4/15 | 18 | 93,6 | 100,7 | 95,9 | 93,8 | 99 | 100,7 | 91,1 | 92,1 | 90 | 95,1 | 94,1 | 87 | 87,4 | 86 | 90,7 |
| 5/5/15 | 19 | 101,6 | 96,3 | 92,7 | 93,2 | 98,4 | 101,1 | 87 | 88,8 | 86,3 | 95,6 | 94 | 85,3 | 86,5 | 83,8 | 89,5 |
| 7/5/15 | 20 | 101,4 | 87,5 | 96,1 | 94,5 | 95,6 | 100,7 | 84,6 | 85,8 | 84,5 | 95,8 | 92,9 | 84 | 81,1 | 80,5 | 87,7 |
| 12/5/15 | 21 | 100 | 90,7 | 89,8 | 87,1 | 97,3 | 99,8 | 76,3 | 77,2 | 74,4 | 83,5 | 88,6 | 78 | 78,9 | 76,7 | 85,3 |
| 14/5/15 | 22 | 98,1 | 94,4 | 92 | 91,2 | 95,6 | 98 | 62,5 | 61,9 | 56,7 | 88,1 | 87,5 | 75,4 | 78,1 | 74,1 | 83,5 |

ANEXO B.4. pH medido en cinco puntos escogidos de los estanques T1, T2, T3, T4 y T5.

Tabla B 4. 1pH medido en los estanques T1 y T2

| pH | | | | | | | | | | | |
|---------|-----|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------|-------|----------|
| FECHA | DIA | PUNTO ESTANQUE T1 | | | | | PUNTO ESTANQUE T2 | | | | |
| | | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE |
| 26/1/15 | 1 | | | | | | | | | | |
| 9/2/15 | 2 | 7,08 | 7,01 | 7,04 | 7,02 | 6,98 | 7,13 | 7 | 6,93 | 6,9 | 6,87 |
| 17/2/15 | 3 | 7,46 | 7,3 | 7,31 | 7,35 | 7,35 | 7,66 | 7,47 | 7,42 | 7,44 | 7,39 |
| 19/2/15 | 4 | 7,8 | 7,74 | 7,76 | 7,74 | 7,69 | 7,87 | 7,79 | 7,74 | 7,72 | 7,72 |
| 24/2/15 | 5 | 7,8 | 7,69 | 7,7 | 7,67 | 7,58 | 7,76 | 7,72 | 7,79 | 7,8 | 7,63 |
| 26/2/15 | 6 | 7,96 | 7,89 | 7,67 | 7,91 | 7,81 | 7,95 | 7,9 | 7,89 | 7,9 | 7,86 |
| 3/3/15 | 7 | 7,84 | 7,83 | 7,89 | 7,93 | 7,86 | 7,89 | 7,96 | 8,05 | 8,01 | 7,94 |
| 5/3/15 | 8 | 7,99 | 7,95 | 7,99 | 7,99 | 7,91 | 7,98 | 7,97 | 7,95 | 8,01 | 7,88 |
| 12/3/15 | 9 | 7,88 | 7,84 | 7 | 7,88 | 7,77 | 7,98 | 7,97 | 8 | 7,99 | 7,89 |
| 19/3/15 | 10 | 8,04 | 7,94 | 7,95 | 7,95 | 7,88 | 8,13 | 8,09 | 8,16 | 8,16 | 8,01 |
| 26/3/15 | 11 | 8,11 | 8,09 | 8,14 | 8,1 | 7,97 | 8,07 | 8,07 | 8,06 | 8,07 | 8,02 |
| 31/3/15 | 12 | 8,05 | 8,03 | 8,08 | 8,06 | 8,08 | 8,08 | 8,05 | 8,08 | 8,05 | 8,06 |
| 9/4/15 | 13 | 8,1 | 8,12 | 8,19 | 8,16 | 8,13 | 8,19 | 8,05 | 8,01 | 8 | 8,06 |
| 16/4/15 | 14 | 8,07 | 8,05 | 8,04 | 8,06 | 8,1 | 8,14 | 8,06 | 7,95 | 7,93 | 8 |
| 21/4/15 | 15 | | | | | | | | | | |
| 23/4/15 | 16 | | | | | | | | | | |
| 28/4/15 | 17 | 8,13 | 8,1 | 8,14 | 8,1 | 8,16 | 8,19 | 8,18 | 8,2 | 8,16 | 8,18 |
| 30/4/15 | 18 | 8,14 | 8,22 | 8,23 | 8,21 | 8,25 | 8,26 | 8,2 | 8,27 | 8,24 | 8,21 |
| 5/5/15 | 19 | 8,5 | 8,27 | 8,22 | 8,21 | 8,32 | 8,13 | 8,15 | 8,17 | 8,18 | 8,42 |
| 7/5/15 | 20 | 8,28 | 8,26 | 8,25 | 8,25 | 8,29 | 8,35 | 8,35 | 8,29 | 8,29 | 8,36 |
| 12/5/15 | 21 | 8,42 | 8,36 | 8,25 | 8,35 | 8,41 | 8,51 | 8,42 | 8,41 | 8,39 | 8,35 |
| 14/5/15 | 22 | 8,42 | 8,31 | 8,37 | 8,35 | 8,36 | 8,47 | 8,38 | 8,34 | 8,31 | 8,31 |

Tabla B 4. 2.pH medido en los estanques T3, T4 y T5

| | | pH | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-----|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------|-------|----------|
| FECHA | DIA | PUNTO ESTANQUE T3 | | | | | PUNTO ESTANQUE T4 | | | | | PUNTO ESTANQUE T5 | | | | |
| | | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE | AFLUENTE | INICIO | MITAD | FINAL | EFLUENTE |
| 26/1/15 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9/2/15 | 2 | 7 | 6,68 | 6,66 | 6,64 | 6,6 | 6,85 | 6,51 | 6,34 | 6,37 | 6,56 | 6,6 | 6,61 | 6,58 | 6,5 | 6,56 |
| 17/2/15 | 3 | 7,41 | 7,33 | 7,26 | 7,21 | 7,18 | 7,5 | 7,29 | 7,26 | 7,26 | 7,19 | 7,19 | 6,92 | 6,92 | 7,06 | 6,97 |
| 19/2/15 | 4 | 7,75 | 7,44 | 7,38 | 7,38 | 7,32 | 7,67 | 7,21 | 7,13 | 6,99 | 7,31 | 7,3 | 7,18 | 7,2 | 7,18 | 7,19 |
| 24/2/15 | 5 | 7,75 | 7,64 | 7,71 | 7,63 | 7,56 | 7,73 | 7,36 | 7,21 | 7,22 | 7,4 | 7,38 | 7,26 | 7,24 | 7,26 | 7,23 |
| 26/2/15 | 6 | 8,09 | 7,76 | 7,7 | 7,69 | 7,61 | 7,97 | 7,55 | 7,36 | 7,34 | 7,53 | 7,41 | 7,34 | 7,35 | 7,32 | 7,38 |
| 3/3/15 | 7 | 7,87 | 7,74 | 7,79 | 7,72 | 7,66 | 7,81 | 7,58 | 7,43 | 7,46 | 7,53 | 7,5 | 7,48 | 7,57 | 7,61 | 7,5 |
| 5/3/15 | 8 | 7,89 | 7,76 | 7,75 | 7,68 | 7,67 | 7,97 | 7,64 | 7,53 | 7,51 | 7,58 | 7,58 | 7,54 | 7,62 | 7,65 | 7,55 |
| 12/3/15 | 9 | 7,74 | 7,59 | 7,62 | 7,57 | 7,56 | 7,85 | 7,49 | 7,37 | 7,34 | 7,47 | 7,52 | 7,48 | 7,55 | 7,62 | 7,62 |
| 19/3/15 | 10 | 8,06 | 7,87 | 7,84 | 7,87 | 7,88 | 8,02 | 7,75 | 7,7 | 7,67 | 7,65 | 7,7 | 7,64 | 7,61 | 7,62 | 7,69 |
| 26/3/15 | 11 | 8,04 | 7,79 | 7,84 | 7,72 | 7,8 | 8,01 | 7,67 | 7,61 | 7,54 | 7,6 | 7,64 | 7,47 | 7,48 | 7,47 | 7,63 |
| 31/3/15 | 12 | 8,12 | 7,79 | 7,78 | 7,79 | 7,84 | 8,1 | 7,91 | 7,77 | 7,63 | 7,65 | 7,72 | 7,65 | 7,66 | 7,74 | 7,68 |
| 9/4/15 | 13 | 8,10 | 7,97 | 7,94 | 7,9 | 7,84 | 8,14 | 7,92 | 7,85 | 7,72 | 7,74 | 7,77 | 7,73 | 7,69 | 7,76 | 7,81 |
| 16/4/15 | 14 | 8,03 | 7,92 | 7,82 | 7,8 | 7,8 | 8,02 | 8,02 | 8,21 | 8,13 | 7,95 | 7,87 | 7,7 | 7,61 | 7,57 | 7,71 |
| 21/4/15 | 15 | 7,99 | 7,89 | 7,75 | 7,72 | 7,9 | 8,03 | 7,46 | 7,51 | 7,45 | 7,68 | 7,7 | 7,47 | 7,48 | 7,44 | 7,47 |
| 23/4/15 | 16 | 8,17 | 7,83 | 7,76 | 7,72 | 8,05 | 8,12 | 7,96 | 7,7 | 7,64 | 7,81 | 7,74 | 7,78 | 7,66 | 7,71 | 7,65 |
| 28/4/15 | 17 | 8,24 | 8,10 | 8,00 | 7,96 | 8,00 | 7,99 | 7,85 | 7,76 | 8,00 | 7,89 | 7,89 | 7,82 | 7,73 | 7,73 | 7,72 |
| 30/4/15 | 18 | 7,97 | 8,36 | 8,15 | 7,94 | 8,19 | 8,26 | 8,19 | 8,02 | 8,00 | 8,08 | 8,00 | 7,94 | 7,96 | 7,94 | 7,92 |
| 5/5/15 | 19 | 8,34 | 8,22 | 8,13 | 8,08 | 8,3 | 8,33 | 8,12 | 7,98 | 7,92 | 8,07 | 8,05 | 8,0 | 7,97 | 7,89 | 7,93 |
| 7/5/15 | 20 | 8,39 | 8,33 | 8,27 | 8,16 | 8,36 | 8,33 | 8,19 | 7,97 | 7,91 | 8,15 | 8,07 | 8,02 | 7,44 | 7,92 | 7,94 |
| 12/5/15 | 21 | 8,42 | 8,31 | 8,2 | 8,11 | 8,54 | 8,41 | 8,23 | 7,92 | 7,91 | 8,10 | 8,10 | 8,00 | 7,91 | 7,88 | 7,89 |
| 14/5/15 | 22 | 8,36 | 8,24 | 8,21 | 8,18 | 8,23 | 8,36 | 7,91 | 7,79 | 7,74 | 8,1 | 8,04 | 7,97 | 7,87 | 7,86 | 7,89 |

ANEXO C

CÁLCULOS

Figura C.1: Consumo de oxígeno por la trucha arcoíris, en mg/kg de peso/hora, en temperaturas comprendidas entre 5 y 20°C y de 1 a 1000 gramos de peso. (Tomado de Blanco, 1995. Según Liao 1970).

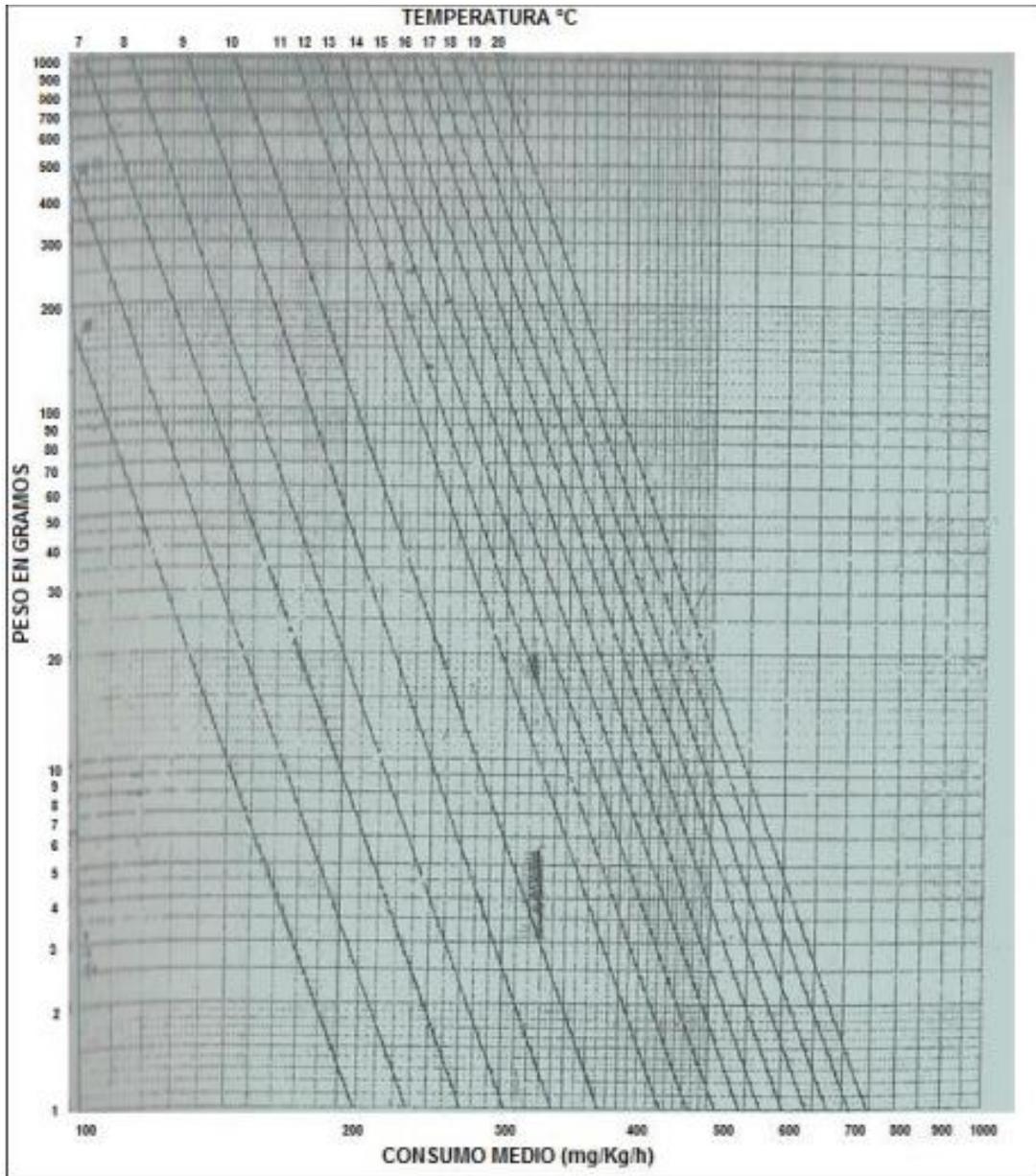


Tabla C 1. 1 Caudal teórico

| ESTANQUE | PESO PROM (g) | TEMP. PROM (°C) | BIOMASA (Kg) | CONSUMO O.D (mg/Kg*h) | O.D INICIO | O.D RESIDUAL | O.D DISPONIBLE | CAUDAL (L/s) |
|----------|---------------|-----------------|--------------|-----------------------|------------|--------------|----------------|--------------|
| | | | | | (mg/L) | (mg/L) | (mg/L) | |
| T1 | 13,02 | 15 | 34,095 | 400 | 7,694 | 7,629 | 0,13 | 58,3 |
| T2 | 19,81 | 15 | 55,023 | 382 | 7,76 | 7,566 | 0,19 | 30,1 |
| T3 | 72,29 | 15 | 191,98 | 320 | 7,548 | 6,915 | 0,63 | 27,0 |
| T4 | 224,81 | 15 | 489,04 | 260 | 7,534 | 5,782 | 1,75 | 20,2 |
| T5 | 378,5 | 15 | 655,919 | 243 | 6,733 | 6,028 | 0,71 | 62,8 |

Tabla C 1. 2. Prueba estadística no paramétrica de Friedman

| ESTANQUE | PUNTO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|----------------|------|------|------|------|------|
| T1 | Rango promedio | 3,97 | 2,34 | 2,39 | 3,45 | 2,84 |
| | Media | 7,69 | 7,59 | 7,6 | 7,62 | 7,56 |
| T2 | Rango promedio | 4,68 | 2,63 | 2,47 | 2,66 | 2,55 |
| | Media | 7,76 | 7,55 | 7,57 | 7,56 | 7,57 |
| T3 | Rango promedio | 4,76 | 3 | 2,43 | 1,52 | 3,29 |
| | Media | 7,54 | 7,1 | 6,98 | 6,91 | 7,22 |
| T4 | Rango promedio | 4,81 | 2,38 | 3 | 1,26 | 3,55 |
| | Media | 7,53 | 6,04 | 6,19 | 5,78 | 6,81 |
| T5 | Rango promedio | 4,29 | 2,24 | 2,69 | 1,64 | 4,14 |
| | Media | 6,73 | 6,08 | 6,09 | 6,02 | 6,6 |