



Diseño de un oxigenador piscícola de bajo costo para estanques de Trucha en Finca La Isabela

Bryan Xavier Vargas Machado

Código:20451622834

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ibagué, Colombia

2022

**Diseño de un oxigenador piscícola de bajo costo para estanques de Trucha en Finca La
Isabela**

Bryan Xavier Vargas Machado

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Director (a):

Msc. Juan Carlos Rico Bermúdez

Línea de Investigación:

Diseño Mecánico

Grupo de Investigación:

REM

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Ibagué, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
Diseño de un oxigenador piscícola de bajo costo para estanques de Trucha en Finca La Isabela,
Cumple con los requisitos para optar al título de Ingeniero Mecánico

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Tabla de Contenido

Universidad Antonio Nariño	1
Ingeniero Mecánico	2
Universidad Antonio Nariño	2
Tabla de Contenido.....	4
Abstract	2
Introducción.....	3
2. Objetivos	5
2.1. Objetivo General	5
2.2. Objetivos Específicos	5
3. Justificación.....	6
3.1 Planteamiento del Problema	7
4. Marco Teórico	9
4.1 Piscicultura	9
4.2. Cultivo de Trucha.....	9
4.2.1 Manejo De Recurso Hídrico	10
4.2.2. Calidad del agua.....	12
4.2.3. Medir la Calidad, Cantidad y Caudal del Agua.	12
4.3. Estanques.....	14
4.3.1 Estanque para el cultivo de trucha.....	15
4.4. Oxigenador Piscícola.....	17
4.4.1. Principio De Bernoulli.	17
4.4.2. Efecto Venturi.....	18
4.4.3 Balance de energía.....	19
4.5 Sistemas de Aireación	19
4.5.1 Oxigenado de paleta.....	19
4.5.2. Bomba de riego.....	20

4.5.3. Difusores de Aire	21
5. Metodología.....	22
5.1. Etapas para Desarrollar el Estudio.	22
5.1.1. Etapa 1.	22
5.1.2. Etapa 2.	23
5.1.3. Etapa 3	23
5.1.4. Etapa 4.	23
5.1.5. Etapa 5.	24
6. Resultados y Análisis de Resultados	26
6.1. Ingeniería del Proyecto.....	26
6.1.1 Cálculo del caudal.....	26
6.2. Características del Estanque de Estudio	38
6.2.1 Características fisicoquímicas del agua en el estanque de estudio.	39
6.2.2 Diseño del Oxigenador	44
6.2.3 Criterios de diseño	45
6.2.1 Simulaciones.....	47
6.3.1. Selección de los componentes comerciales para la construcción del oxigenador. ...	48
6.4. Construcción del Oxigenador Piscícola.....	50
6.4.1 Materiales utilizados	51
6.5. Validación de la eficiencia del oxigenador piscícola, a través de la medición del porcentaje de saturación OD, y el consumo del agua empleada en la manutención del estanque.	56
6.6. Costos de Fabricación, Operación y Manutención del Oxigenador.	59
7. Conclusiones	62
8. Bibliografía.....	64
Planos del tubo de perforado.	74
Anexo (5).....	76
CAPÍTULO	76
1. Características Estructurales.....	77
CAPÍTULO	78
2.1. Limpieza tanque de agua y tubos de aireación.	79
2.2. Mantenimiento.....	80
2.3. Recomendaciones	80

Lista de Figuras

Figura 1 Teorema De Bernoulli.....	18
Figura 2 Teorema Venturi	18
Figura 3 Oxigenador de paleta	20
Figura 4 Bomba de riego	21
Figura 5 Difusor de aire.....	22
Figura 6 Diagrama de etapas del proyecto	25
Figura 7 Diagrama para el numero de recambios diarios.....	28
Figura 8 Diagrama de estudio	30
Figura 9 Diagrama de Moody	32
Figura 10 Coeficiente de perdida	34
Figura 11 Diagrama de estudio difusor	35
Figura 12 Coeficiente de resistencia expansión súbita.....	37
Figura 13 Estaque de investigación.....	39
Figura 14 Concentración de OD medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el agua contenida en el estanque de estudio	41
Figura 15 Temperatura del agua medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el estanque de experimentación	42
Figura 16 Medición de OD mediante oxímetro en el estanque de estudio.....	43
Figura 17 Diagrama del oxigenador piscícola.....	47
Figura 18 Ficha técnica de la válvula de esfera de latón.....	50
Figura 19 Ensamblaje de los tubos aireadores	52
Figura 20 Estrechamientos (Agujeros en los tubos).....	53
Figura 21 Unión de manguera suministradora de agua a los tubos de aireación	54
Figura 22 Llave de paso en el sistema de aireación	55
Figura 23 Comparación de las Concentraciones de OD en el agua, con y sin el uso del prototipo de oxigenador, medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el estanque de estudio.....	57
Figura 24 Comparación del porcentaje de saturación de OD en el agua, con y sin el uso del prototipo de oxigenador, medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el estanque de estudio.....	58

Lista de tablas

Tabla 1 Comportamiento de los peces falta de oxígeno.....	11
Tabla 2 Comportamiento Peces Vs Temperatura.....	11
Tabla 3 Calidad Del Agua	12
Tabla 4 Caudal necesario para mantener 2000 alevines en función de su tamaño y temperatura del agua.	15
Tabla 5 caudal necesario para 1000 truchas en función de su tamaño y temperatura del agua	16
Tabla 6 Método Volumétrico	27
Tabla 7 Dimensiones del estanque de cultivo	39
Tabla 9 Temperatura del agua medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el estanque de experimentación	42
Tabla 10 Parámetros de evaluación del sistema.....	44
Tabla 11 Metodología selección de diseño	45
Tabla 12 Características de la resistencia de la Tubería PVC	48
Tabla 13 Características físicas de la Tubería PVC	49
Tabla 14 Comparación de las Concentraciones de OD en el agua, con y sin el uso del prototipo de oxigenador, medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el estanque de estudio	58
Tabla 15 Comparación del porcentaje de saturación de OD en el agua, con y sin el uso del prototipo de oxigenador, medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el estanque de estudio	59
Tabla 16 metodología costos de fabricación, operación y manutención.....	59
Tabla 17 Descripción y valores de los elementos necesarios para la fabricación del oxigenador	60

Agradecimientos

Agradezco a la empresa V&P PEZ por el apoyo brindado, al ingeniero Juan Carlos Rico B por su asesoría en el proceso del proyecto de grado.

Resumen

El proyecto de investigación presenta, el diseño y construcción de un oxigenador piscícola de bajo costo para el estanque de la Finca La Isabela (Corregimiento de Juntas, Municipio de Ibagué, Tolima), este elemento eleva la concentración de oxígeno disuelto (OD), hasta alcanzar un rango entre 4.10 y 5.71 mg/l, cumpliendo con los estándares mínimos de calidad del agua para la cría de truche en estanque. Para ello se realizaron cinco etapas: en la primera se caracterizaron las propiedades químicas del agua, enfatizando principalmente en la temperatura y el OD, teniendo en cuenta la profundidad y el área del tanque. En la segunda etapa, se inició el proceso de diseño para la construcción del oxigenador piscícola, por medio del software CAD (Solidworks). En la etapa tres, se finalizó el prototipo estableciendo cada uno de los procesos de manufactura correspondientes. En la etapa cuatro, se llevó a cabo la validación del oxigenador piscícola, realizando varias mediciones cada una de ellas a diferentes profundidades. Finalmente, en la última etapa, se realizó el análisis de resultados mediante el uso del software Prism v.5 (GraphPad Inc., San Diego, CA, EUA), para comparar los niveles de OD antes y después, de usar el oxigenador. Según los resultados, la concentración de OD se elevó de 6.47 y 7.96 mg/l, obteniendo niveles de saturación de hasta 87.10%, con una temperatura promedio de 17.16°C. En línea con lo anterior, se presenta un prototipo experimental de oxigenador piscícola que eleva efectivamente la concentración de OD, según los datos recolectados, lo que debería impactar de manera positiva la producción de trucha en la finca La Isabela.

Palabras Clave: piscícola, oxigenador, calidad del agua, diseño.

Abstract

The research project presents the design and construction of a low-cost fish oxygenator for the pond of Finca la Isabela (Corregimiento de Juntas, Municipality of Ibagué, Tolima) that raises the concentration of dissolved oxygen (DO) between 4.10 y 5.71 mg/l, complying with the minimum water quality standards for trout farming in the pond, for this, five stages were carried out: in the first, the chemical properties of the water were characterized, emphasizing mainly the temperature and DO, taking into account the depth and area of the tank. In the second stage, the design process for the construction of the fish oxygenator was started by means of CAD software (Solidworks). In stage three, the prototype was built, establishing each of the corresponding manufacturing processes. In stage four, the validation of the fish oxygenator was carried out, taking several measurements each at different depths and finally in the last stage, the analysis of the results was carried out using the software Prism v.5 (GraphPad Inc., San Diego, CA, USA), to compare DO levels before and after use of the oxygenator. According to the results, the DO concentration rose from 6.47 y 7.96 mg/l reaching saturation levels of 74.52% on average, the pond temperature remained stable with a value of 17.16°C. In this sense, an experimental prototype of a fish oxygenator is presented that, according to the data collected, effectively raises the DO concentration, which should have a positive impact on trout production at the La Isabela farm.

KEY WORDS: fish farming, oxygenator, water quality, design.

Introducción

La producción de organismos acuáticos de aguas dulces, salobres o saladas se conoce con el nombre de acuicultura, y para ser desarrollada requiere condiciones de temperaturas óptimas, dependiendo de la especie que se seleccione. De igual forma, la acuicultura tiene requerimientos especiales en cuanto a terrenos, abastecimiento de agua, calidad química y física de la misma y una infraestructura optima; cada uno de estos factores son determinantes para el mantenimiento del cultivo [1]. El cultivo se implementa según la especie establecida y los parámetros que otorgan la posición geográfica, teniendo como principales sistemas de cultivo, el extensivo, semi-intensivo, súper-intensivo e intensivo que están relacionados con la infraestructura instalada y la densidad de siembra utilizada [2].

El proyecto presentado, contiene una metodología mediante la cual se diseñó un dispositivo de bajo costo que aumenta los niveles de oxígeno disuelto en el agua en los estanques de cultivo de trucha y garantiza la estabilidad esta variable, que es una de las más importantes en lo que a calidad del agua se refiere. Se han llegado a estimar unas 1,900 especies de trucha, lo que la convierte en una de las especies de agua dulce más diversas en el mundo [3].

El presente proyecto, mejora las condiciones de oxígeno disuelto, en miras una óptima producción de trucha según lo requerido por esta especie, buscando de esta forma, contribuir a la economía de los productores acuícolas del corregimiento de Juntas. Al elevar los indicadores de producción de este corregimiento, esta actividad productiva se convertiría en una excelente oportunidad para integrar la población rural de Ibagué, presentándose como alternativa de crecimiento económico individual, local y regional.

Por lo tanto, el proyecto desarrollado en la Finca la Isabela, mediante el diseño y validación de un prototipo experimental para el cultivo de trucha en estanque, buscó contribuir en la mejora de la calidad de vida de la comunidad, implementando esta alternativa de

producción.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo experimental de oxigenador piscícola de bajo costo, que permita aumentar los niveles de oxígeno disuelto del agua, mejorando la eficiencia en la producción del cultivo de trucha y el manejo óptimo del recurso hídrico en la finca La Isabela del corregimiento de Juntas, municipio de Ibagué.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones del estanque en cuanto a dimensión, caudal, niveles de saturación de OD, temperatura y el manejo actual del recurso hídrico en la finca La Isabela.
- Diseñar el prototipo experimental del oxigenador piscícola mediante métodos analíticos y software de diseño CAD.
- Construir el oxigenador piscícola, a partir del diseño planteado, utilizando los procesos de manufactura correspondientes.
- Validar la eficiencia del oxigenador piscícola, a través de la medición del porcentaje de saturación OD, y el consumo del agua empleada en la manutención del estanque.
- Presentar los costos de fabricación, operación y mantenimiento del oxigenador piscícola.

3. Justificación

El Plan de Desarrollo Socioeconómico y territorial del Corregimiento Juntas presentado por la alcaldía de Ibagué, establece una serie de medidas sectoriales enfocadas principalmente a la mejora en vías, salud, comunicación y educación enfocándose principalmente en el ecoturismo. Teniendo en cuenta que Juntas es la vía de acceso al Parque Natural Nacional de los Nevados desde el departamento del Tolima [4], El Plan de Ordenamiento Territorial - POT establece en su artículo 120 que, el uso principal del suelo en este sector es para protección y conservación de los recursos naturales y actividades científicas, con uso condicionado en ecoturismo, dejando por fuera actividades como la piscicultura entre otras [5], Sin embargo, el avance del cultivo en la región ha sido importante en los últimos 18 años pasando de media tonelada al mes a 15 toneladas al mes.

En junio de 2020, el Centro de Productividad del Tolima presentó un estudio de la cadena piscícola, en donde se concluye y recomienda, trabajar en el mejoramiento de todo el proceso piscícola, indicando que la clave del éxito está en la calidad, volumen y temperatura del agua. Desde un enfoque técnico, se busca dar solución viable, sustentable, económica y efectiva para el avance y desarrollo de la piscicultura de la región del Tolima, que se dedica al cultivo de trucha, logrando alcanzar los estándares de calidad establecidos por la FAO [1].

3.1 Planteamiento del Problema

El corregimiento de Juntas, perteneciente al municipio de Ibagué, se localiza al occidente de la ciudad, enclavado en el cañón del río Combeima a una altura entre los 2400 y 3000 metros sobre el nivel del mar, es rico en fuentes hídricas [4]. Su economía se basa en el turismo, la agricultura y la piscicultura, estando esta última desarticulada de los planes de desarrollo económico municipal y por ende relegada a modos de producción artesanales y empíricos, dando resultados bajos en la eficiencia de la producción de los cultivos y el uso racional del agua con respecto al proceso de oxigenación, en la cría de peces [6]. El proyecto propuesto está direccionado a proporcionar un dispositivo que genera una mayor eficiencia en el proceso de oxigenación, a través del enriquecimiento del oxígeno disuelto (OD) en el agua, permitiendo incrementar la densidad de la población de peces, aumentando de este modo la producción mediante la compensación de las variaciones en el nivel de OD, relacionadas con el tiempo, mejorando así el consumo de alimento, el crecimiento de la biomasa del cultivo y la resistencia a las enfermedades.

La demanda de oxígeno es un factor clave para lograr un aumento prolongado en la producción de peces, como se ha observado en algunos estudios, en los cuales se demuestra que: i) la saturación de oxígeno por debajo de 85% reduce el consumo de alimento, generando que los peces se tornen vulnerables a enfermedades, ii) al 75% por ciento de saturación comienza a disminuir el apetito, iii) al 60% de saturación se incrementa la mortalidad, iv) al 40% de saturación no hay consumo de alimento y v) al 30% de saturación se produce la mortalidad masiva [5], [7], [8]. Así las cosas, se pretende cumplir con los estándares establecidos para la cría de trucha, generando una mayor eficiencia en el uso racional de los recursos hídricos en los procesos de piscicultura de este corregimiento.

Surge pues la pregunta de investigación: ¿es posible diseñar un oxigenador piscícola de

bajo costo, que aumente los niveles de oxígeno del agua y a su vez sea asequible para los productores de trucha del corregimiento de Juntas Tolima, permitiendo mejorar la eficiencia del cultivo de trucha y el aprovechamiento adecuado del recurso hídrico en cantidad y calidad?

4. Marco Teórico

4.1 Piscicultura

La piscicultura es la ciencia de la producción de peces que agrupa gran diversidad de cultivos, denominados en función de la especie o familia que se vaya a trabajar teniendo en cuenta las características biológicas, enfocando principalmente en un ecosistema óptimo para el desarrollo y reproducción de la especie en donde se tiene en cuenta factores fundamentales como la calidad del agua, temperatura y alimentación [9]. La variedad de infraestructura de tanques piscícolas en el mercado es muy amplia, estanques, jaulas flotantes, diseño de tubería, entre otras que están determinados como se mencionó anteriormente por el tipo de cultivo [10].

Cuando se tiene un terreno que no es apto para la ganadería o agricultura, este se puede aprovechar implementando la piscicultura, siempre dando un buen aprovechamiento del agua y tierra que posee la finca, además de ser una buena forma de arreglar problemas de alimentación y generar empleo [11].

4.2. Cultivo de Trucha

La trucha es un pez de la familia de los salmónidos; el nombre se usa específicamente para tres géneros de dicha familia: Salmónidos, que incluye las especies del Atlántico, *Oncorhynchus*, que incluye las especies del Pacífico, y *Salvelinus*, originaria de Norteamérica. Las truchas del género *Oncorhynchus* son las más empleadas para el cultivo en cautiverio, siendo la *Oncorhynchus mykiss* o trucha arco iris, la especie de mayor cultivo a nivel mundial, debido a su resistencia y facilidad de cría [12]. Por consiguiente, la carne de trucha se ha convertido en un alimento muy apreciado, considerado de muy buen sabor. Contiene 6,70 gramos de grasa por cada 100 gramos, 18,75 gramos de proteínas no contienen carbohidratos, ni azúcar, aportando 135 calorías a la dieta, además, posee vitaminas B9, B3, B12 y B7, siendo una buena fuente de potasio [12].

Tal es el efecto de su importancia alimenticia, que el cultivo de trucha arco iris ha crecido en departamentos colombianos como el Tolima. Según la secretaría de Agricultura del departamento en el 2019 se produjeron 168 mil kilos en Ibagué y 20 mil kg en los municipios de dicho departamento. Después de Ibagué los sectores más importantes de cultivo de trucha en el departamento se distribuyen; Murillo con 12.500 kilos en un año, es el municipio que más cultiva trucha. Luego figuran Roncesvalles con 6.000 kilos, Cajamarca y Anzoátegui con 600 kilos y Casabianca con 400 kilos. También se cultiva en pequeñas áreas del Líbano, Villahermosa y Villarrica [13].

4.2.1 Manejo De Recurso Hídrico

Uno de los aspectos más importantes para el cultivo de truchas es el agua, esta debe tener ciertas condiciones de calidad [1]. Para esto además de buscar una fuente hídrica limpia, sin contaminación y con pocos sedimentos, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

4.2.1.1. Oxígeno. En un cuerpo de agua se produce y a la vez se consume oxígeno, el consumo de oxígeno depende de la respiración de la vida que se encuentra adentro del ecosistema del tanque, descomposición de sustancias orgánicas y otras reacciones químicas. No alcanzando el nivel mínimo necesario para la vida de muchos organismos, en este caso los peces son especialmente sensibles a la hipoxia (bajas de oxígeno). El oxígeno disuelto se ve afectado por la temperatura ya que, a temperaturas altas, el oxígeno disuelto es menor que a temperaturas bajas [14]. En la tabla se presenta el comportamiento de la trucha frente a los niveles de oxígeno disuelto en miligramos por litro.

Tabla 1 Comportamiento de los peces falta de oxígeno

O ₂ mg/l	0= 3,0	3,1=4,5	4,6=5,9	6,0= 8,5
Condición	Muere	Sufre grave estrés	Poco estrés Crecimiento lento	Óptimo desarrollo

Nota: [14].

4.2.1.2. Temperatura. La propiedad de la materia relacionada con la sensación de calor o frío que se siente en contacto con ella. La variación de la temperatura tiene incidencia sobre diferentes parámetros físico-químicos que, a su vez, puede afectar la calidad del agua. En el proceso de los peces, la temperatura regula el crecimiento de los peces (véase Tabla 2), ya que estos no tienen capacidad propia para regular su temperatura corporal, así las cosas, si la temperatura es muy baja el crecimiento es lento, y si la temperatura es alta el desarrollo es más rápido [15].

Tabla 2 Comportamiento Peces Vs Temperatura

Temperatura °C	1-3	4-8	9-14	15-17	18-20
Consecuencia	Muere	Crecimiento lento	Crecimiento óptimo buena incubación y reproducción	Velocidad de crecimiento disminuye	Estrés, bajo contenido de O ₂

Nota : [14].

4.2.1.3. pH. La medida de acidez o de alcalinidad de una sustancia. Los ácidos y las bases cuentan con ciertas características que permiten medirlos, una de estas características es la concentración de iones de hidrógeno. Los ácidos fuertes tienen grandes concentraciones de iones de hidrógeno y los ácidos débiles tienen concentraciones bajas. El pH entonces es un valor numérico que expresa la concentración de iones de hidrógeno.

4.2.2. Calidad del agua.

En relación con la calidad, es muy importante buscar una fuente de agua limpia, sin contaminación y con poco sedimento. La Tabla 3 resume las principales características de la calidad del agua para el cultivo de trucha. En este sentido, el abastecimiento de agua debe ser continuo y debe haber disponibilidad del recurso todo el tiempo procurando disminuir su contaminación si la hubiese. Para el transporte del agua desde la fuente hasta los estanques se puede usar mangueras o tubería plástica y determinar el caudal que va a pasar por estas, que se condiciona dependiendo de la cantidad de peces que se siembren por metro cuadrado, esto con el fin de que se suplan las pérdidas de oxígeno [1].

Tabla 3 Calidad Del Agua

CALIDAD DEL AGUA		
Parámetro	Rango	Optimo
Oxígeno (ppm)	7,5 a 12	8,5
Temperatura (°C)	13 a 18	15
PH	6,5 a 8,5	7

Nota : [1].

4.2.3. Medir la Calidad, Cantidad y Caudal del Agua.

La calidad del agua depende de la temperatura, pH y el oxígeno del agua.

4.2.3.1. Medición de la temperatura del agua. Se hace por medio de un termómetro de vidrio con una escala de 0 a 30 grados, el cual se introduce en el agua. Se

recomienda hacer tres mediciones en diferentes horarios para obtener un promedio y así tener un dato más real de la temperatura diaria [1].

4.2.3.2. *Medición de pH.* Se debe disponer de tiras de papel para medir pH. Se introduce la tira en el agua y al extraerse se compara el color de la tira con el instructivo para determinar el pH del agua [1].

4.2.3.3. *Medición de oxígeno.* Para esta medición es necesario contar con un oxímetro, este instrumento permite evidenciar un valor exacto de este parámetro, pero, se debe hacer con previo asesoramiento y estudio relacionado. La trucha tiene exigencias muy altas de oxígeno, de no haber buena cantidad de oxígeno la trucha tiende a enfermarse o morir, por tal razón se recomienda hacer las mediciones en las temporadas más secas, en diferentes periodos del día y a diferentes profundidades con el fin de conocer la homogeneidad del OD en el estanque [1].

4.2.3.4. *Medición de caudal.* Este debe hacerse durante época seca, así se conocerá el mínimo caudal disponible y de este valor dependerá el número de truchas a cultivar. Una manera de conocer el caudal que hay en un estanque, es poner un balde de cierto volumen en la salida de agua de la tubería, se espera hasta que esta llene completamente calculando el tiempo, y este procedimiento se hace varias veces para obtener un promedio. Teniendo este dato, conociendo el caudal se puede calcular la cantidad de biomasa y la cantidad de trucha dependiendo en la etapa que esta se encuentre, así mismo podemos llegar al cálculo del volumen de los estanques [1].

4.2.3.5. *Medición del recambio de agua.* Luego de medir el caudal que llega al estanque, que es generalmente la cantidad de agua que pasa por un segundo, se debe realizar una conversión para conocer la cantidad de agua que pasa en 24 horas. Así mismo los litros de agua se deben convertir en mililitros.

adecuadas, este se divide entre el volumen del estanque y el resultado será la cantidad de veces que se realiza naturalmente un recambio de agua en el estanque.

Mientras mayor sea el recambio de agua, mayor cantidad de truchas se pueden cultivar, ya que el buen flujo de agua aumenta el oxígeno disuelto disponible, además, con el recambio se van los desechos y restos de alimentos que dejan las truchas, manteniendo alta calidad en el agua [1].

4.3. Estanques

Los estanques pueden ser naturales o artificiales y se denominan como lagos naturales a una gran masa de agua formada naturalmente a partir de aguas lluvia, fusión de la nieve o filtración de aguas subterráneas o superficiales en diversos lugares, en contraste los lagos artificiales son construidos por muros de tierra o piedra en algún terreno específico y además se llenan o vacían a voluntad [9].

La construcción de estanques artificiales se realiza principalmente para la producción de peces por lo cual se deben tener en cuenta algunas características necesarias para la fabricación de estanques dirigidos al cultivo de peces entre ellas [11], [13]:

1. Ubicación: Es importante que los estanques estén lo más cerca posible al lugar de abastecimiento de agua garantizando que la temperatura del agua sea adecuada. Alrededor de los estanques debe haber pocos árboles.
2. Terreno: Determina el material adecuado para la construcción de los estanques según la permeabilidad del suelo. Las fabricaciones de estanques se recomiendan en terrenos con inclinaciones mayores al 5% ya que reduciría los costos de operación (llenado de los tanques por gravedad).
3. Tamaño: Dimensiones necesarias para permitir el crecimiento y producción adecuado para la especie.

4. Especie: Dependiendo de las condiciones requeridas por la especie a cultivar se puede construir estanques de tierra, piedra, cemento y jaulas flotantes.

4.3.1 Estanque para el cultivo de trucha.

Los estanques para el cultivo de trucha se pueden distribuir según la etapa de desarrollo de la especie. Para el levante de alevín se recomienda construir estanques de tierra, piedra o cemento con alguna cubierta que proteja los animales de los rayos solares, el tamaño del estanque dependerá de los resultados de producción deseada, sin embargo, la altura mínima del agua debe estar entre 60 y 80 centímetros, teniendo en cuenta una pendiente de 2 a 3% en el fondo [1], [9]. El volumen de caudal para el levante de alevinos deriva del tamaño de los mismos y la temperatura del agua como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4 Caudal necesario para mantener 2000 alevinos en función de su tamaño y temperatura del agua.

Longitud (cm)	Temperatura (°C)			
	5°C	10 °C	15 °C	18 °C
3 cm	1 l/min	1,4 l/min	2,6 l/min	3 l/min
4 cm	2 l/min	4,8 l/min	5,6 l/min	6 l/min
5 cm	3,6 l/min	5,2 l/min	8 l/min	11 l/min

Nota: [1]. l/min: litros por minuto

Los estanques para el engorde de las truchas son generalmente rectangulares, con la entrada de agua al lado opuesto de la salida. Cuando el agua entra al estanque, se le

debe dar altura al tubo que alimenta al estanque para favorecer una caída y aumentar la oxigenación. La salida del agua del estanque debe ser por el fondo para eliminar el agua que tiene menos oxígeno y para sacar las heces y restos de alimento por lo cual el fondo de los estanques debe tener un 2% de desnivel y estar limpio para facilitar el drenaje y la captura de las truchas [1], [9], [14].

En relación con la cantidad de agua que se requiere en los estanques para mantener una cantidad determinada de truchas, en la tabla 5 se resume el caudal en litros por minuto para mantener 1000 truchas de diferentes tamaños y a diferentes temperaturas.

Tabla 5 caudal necesario para 1000 truchas en función de su tamaño y temperatura del agua

Longitud (cm)	Temperatura			
	5°C	10 °C	15 °C	17 °C
10	10,5 l/min	14 l/min	19,5 l/min	23,5 l/min
14	26,5 l/min	33,5 l/min	48,5 l/min	57,5 l/min
18	56,5 l/min	68 l/min	93 l/min	114 l/min
22	103 l/min	128 l/min	168 l/min	200 l/min
26	167,5 l/min	190 l/min	230 l/min	262 l/min

Nota: [1]. l/min: litros por minuto

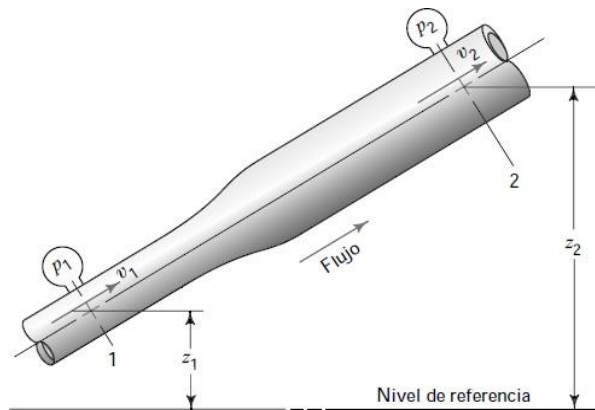
4.4. Oxigenador Piscícola

Un oxigenador piscícola es un dispositivo autónomo que genera un movimiento asegurando la oxigenación del agua en estanques de piscicultura. Estos sistemas de aireación promueven un incremento en la tasa de transferencia de oxígeno gracias a que aumentan la turbulencia del agua y el área superficial en contacto con el aire. Además, promueven la circulación de todo el volumen de agua del estanque. Esto lleva en primer lugar a que los peces encuentren más zonas con una alta concentración de OD. De igual forma, mejora la tasa de transferencia de oxígeno al distribuir el agua con mayor concentración de OD [16]. Generalmente los prototipos de oxigenadores cumplen con los principios de Bernoulli y Venturi, los cuales relacionan la velocidad y la presión de un fluido dentro de determinados sistemas, siendo este uno de los principios en este tipo de dispositivos de aireación.

4.4.1. Principio De Bernoulli.

En puntos a lo largo de una línea horizontal de flujo, las regiones de mayor presión tienen una menor velocidad del fluido, y las regiones de menor presión tienen una mayor velocidad del fluido, por tal motivo un fluido que avanza de una región de mayor presión a una de menor presión se acelerará debido a la fuerza neta sobre la dirección de movimiento (Ver figura 1). La presión a la que se refiere el principio de Bernoulli es la presión interna que el fluido ejerce en todas direcciones durante el flujo, incluyendo la que ejerce sobre la tubería. Esta es diferente de la presión que un fluido ejercerá sobre un cuerpo si se interpone en su camino y detiene su movimiento [17].

Figura 1 Teorema De Bernoulli

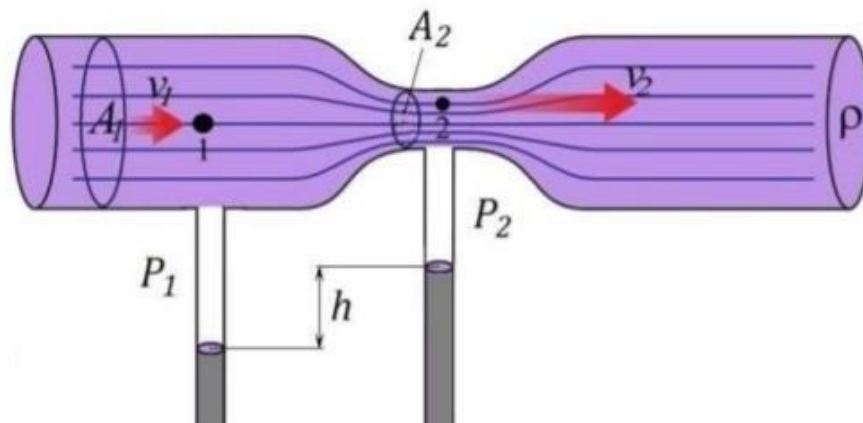


Nota: [18]

4.4.2. Efecto Venturi.

Cuando un fluido en movimiento dentro de un tubo o conducto de determinada sección atraviesa una sección menor, aumenta su velocidad y disminuye su presión, siendo en muchas ocasiones el aumento de velocidad muy grande, produciendo presión de vacío, al conectar otro tubo a este a través de un conducto, se generará una aspiración del fluido tubo donde se generó la depresión; lo anterior corresponde al denominado Efecto Venturi (Figura 2) [19].

Figura 3 Teorema Venturi



Nota: [20].

4.4.3 Balance de energía

Para los distintos dispositivos y componentes de circulación de flujo de fluido, se considera que en la mayoría de sistemas, se agrega energía a un fluido o la retiran del mismo, provocando pérdidas no favorables para el sistema; los tipos de pérdidas a tener en cuenta son las pérdidas por fricción, pérdidas por cambio de la sección y las pérdidas por accesorios, también la manera de que un sistema gana energía, depende de las fuerzas externas, como en el caso de los fluidos, bombas o motores. De la misma forma, las adiciones de energía también se pueden generar debido a la fuerza de gravedad. [18].

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V^2}{2g} + h_l + h_f + h_a = \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V^2}{2g}$$

4.5 Sistemas de Aireación

El oxígeno es de vital importancia para el desarrollo de todos los seres vivos, como el caso de las especies de peces destinadas a la acuicultura, por tal razón es fundamental tener concentraciones idóneas de OD en el agua, para ello se han desarrollado estrategias y medios para mezclar el oxígeno atmosférico al agua del tanque de cultivo permitiendo mantener condiciones ideales para el desarrollo biológico de todas las especies utilizadas en la piscicultura [21], [22].

4.5.1 Oxigenado de paleta.

El Oxigenado a través de paleta funciona por la producción mecánica de salpicadura cortando el agua con las paletas, permitiendo que una parte del oxígeno que se encuentra en el aire se disuelva en el agua. Este tipo de oxigenado se utiliza principalmente en lagunas grandes y se caracteriza por tener un peso entre 60 y 50 kg,

consumo energético elevado y su precio es alrededor de \$ 3.000.000 sin incluir costos de logística e instalación (Figura 3) [23].

Figura 4 Oxigenador de paleta



Nota: [23].

4.5.2. Bomba de riego.

La bomba de riego recircula el agua del estanque por medio de columnas superficiales de agua para aumentar las concentraciones de OD en el estanque. La bomba de riego utiliza un motor de 7 a 16 kW lo que eleva sus costos de operación y su precio en el mercado, el cual gira en torno de \$2.300.000 a \$3.200.000 (Figura. 4) [24].

Figura 5 Bomba de riego



Nota: [24].

4.5.3. Difusores de Aire.

El principio de los difusores es llevar volúmenes de aire a una alta presión y velocidad en el agua. Hay dos formas de alimentar el oxigenador y el agua para los difusores. La primera es por medio de un conjunto de blower y bomba, este se utiliza para estanques con grandes cantidades de peces y aérea. La segunda por caída debido a la gravedad y generación de presión de vacío debido al efecto Venturi, lo más recomendado para estanques pequeños y oxigenación de columnas de agua superficiales intermedias y se caracterizan por:

a) costo energético 0, b) los materiales son comerciales y un mantenimiento correctivo mucho más fácil de implementar, b) su uso continuo no genera grandes desgastes, c) oxigenación de columnas de agua intermedias y superficiales y d) su costo de fabricación oscila entre \$1.000.000 y \$ 1.200.000 aproximadamente (Figura 5) [25].

Figura 6 Difusor de aire



Nota: [12]

5. Metodología

Este proyecto, está enfocado al diseño de un oxigenador piscícola de bajo costo, se divide en 5 etapas para el cumplimiento de los objetivos propuestos (Ver figura 6), la explicación detallada de cada uno de los procesos que se llevaron a cabo para la ejecución, se muestra a continuación:

5.1. Etapas para Desarrollar el Estudio.

5.1.1. Etapa 1.

En esta etapa se desarrollaron tareas de estudio del estado actual del hábitat, en la cual se caracterizó las propiedades químicas del agua, enfatizando en la temperatura y el OD, teniendo en cuenta la profundidad y área del tanque. Para ello se realizó la colecta de

la información a diferentes profundidades (superficial, media y máxima profundidad) en tres periodos de tiempo diferentes cada 15 minutos en el transcurso de una hora: a) a las 8:00am, b) 12:00pm y c) 6pm [7]. En la finca la Isabela del corregimiento de juntas. Las mediciones se efectuaron mediante el uso de un termómetro y oxímetro para la colecta de estos parámetros.

5.1.2. Etapa 2.

En esta etapa se realizaron los cálculos necesarios con los datos obtenidos en la primera etapa, posterior a esto se inició el proceso de diseño por medio del software CAD (Solidworks) donde se especificaron los materiales y planos necesarios para la construcción del oxigenador piscícola de bajo costo.

5.1.3. Etapa 3

Durante esta etapa, se construyó el prototipo, a partir de los diseños y cálculos obtenidos de la segunda etapa, para dicha construcción se establecieron cada uno de los procesos de manufactura, que se llevaron a cabo a lo largo de la construcción del oxigenador.

5.1.4. Etapa 4.

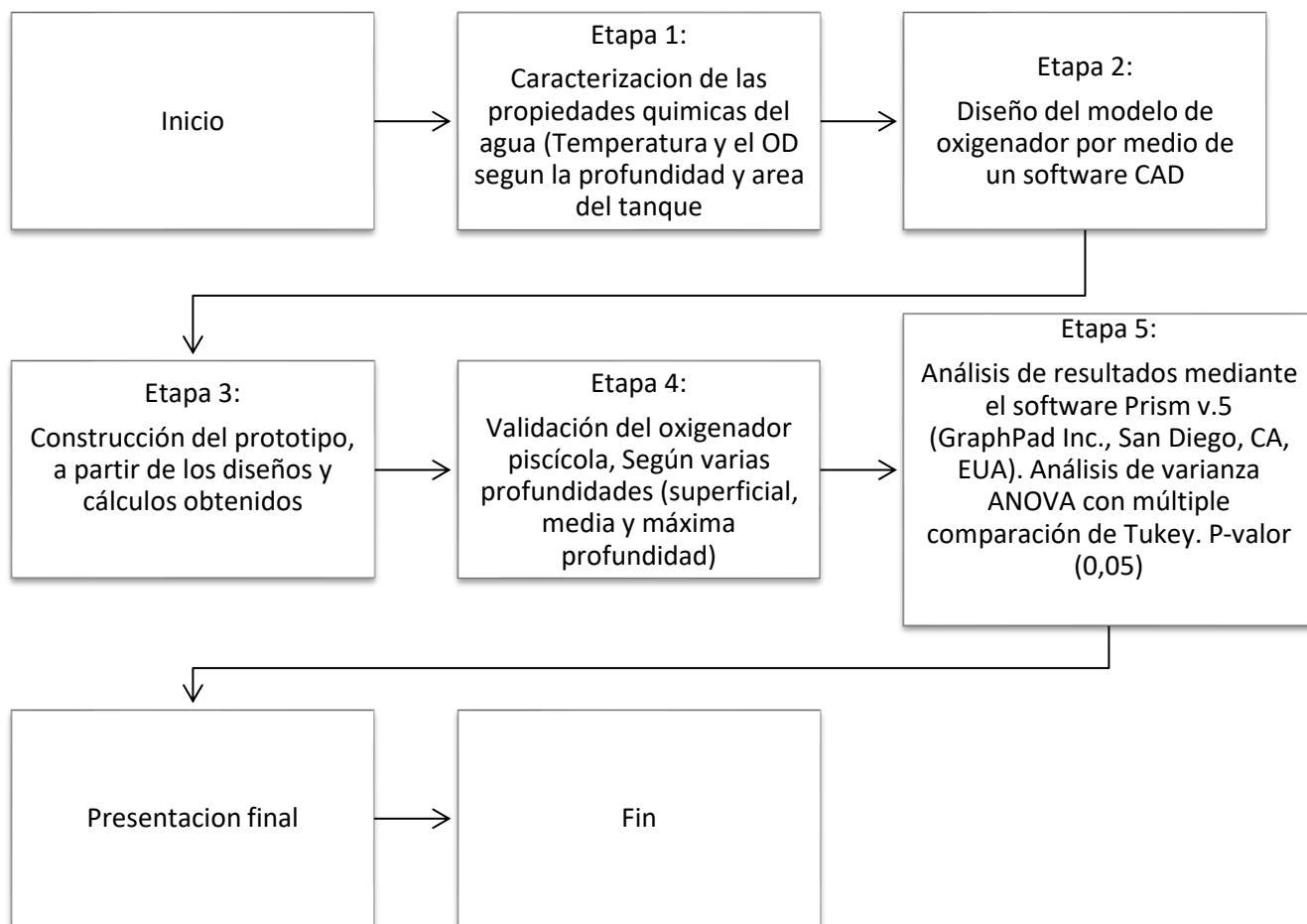
En esta etapa se llevó a cabo la validación del oxigenador piscícola, realizando varias mediciones, cada una de ellas a diferentes profundidades (superficial, media y máxima profundidad) en tres periodos de tiempo diferentes cada 15 minutos durante el transcurso de una hora: a) a las 8:00am, b) 12:00pm y c) 6pm [7], para determinar si este cumple con las condiciones de generación de OD, requeridas para la cría de trucha en

la finca La Isabela. Para esto se utilizó un oxímetro (Ver figura 16).

5.1.5. Etapa 5.

El análisis de resultados se realizó con el software Prism v.5 (GraphPad Inc., San Diego, CA, EUA). Para el estudio de los datos y la presentación de los resultados, se trabajó mediante estadística descriptiva y los datos fueron expresados: “*media ± desvió padrón – (DP)*”. Se elabora la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para establecer el método estadístico que correspondía a la distribución de los datos. Para datos con distribución normal se hace un análisis de varianza ANOVA con múltiple comparación de Tukey. Se trabajo con un nivel de significación de 0,05.

Figura 7 Diagrama de etapas del proyecto



6. Resultados y Análisis de Resultados

6.1. Ingeniería del Proyecto

6.1.1 Cálculo del caudal.

El cultivo de trucha demanda una alta cantidad de oxígeno, debido a que, si no hay una buena cantidad de oxígeno disuelto en el agua, las truchas pueden enfermarse o inclusive morir, el caudal de la fuente de agua que utilizó el presente proyecto, se midió en época seca, esto, para conocer cuál es el escenario mínimo de caudal disponible, ya que, de este, va a depender el número de truchas a cultivar, siguiendo el protocolo que se muestra a continuación:

6.1.1.1. Paso 1. Se debe tener un balde, caneca, barril, que tenga un volumen definido, ya sea en litros o mililitros en esta ocasión se utilizó una caneca de 500 l.

6.1.1.2. Paso 2. Abrir el paso de agua hasta que el flujo de agua sea constante para tener una medición exacta.

6.1.1.3. Paso 3. Se llena el balde, contabilizando el tiempo que le toma en llenar. Esta acción se hace como mínimo 10 veces para obtener una muestra a la cual se le pueda calcular la media.

6.1.1.4. Paso 4. Se hace una sumatoria de cada tiempo obtenido luego se divide en el número de iteración para obtener la media del tiempo. Utilizando la fórmula de volumétrica de caudal ($Q=V/t$) se puede calcular el caudal que pasa por la manguera de diámetro conocido de una pulgada [26].

Tabla 6 Método Volumétrico

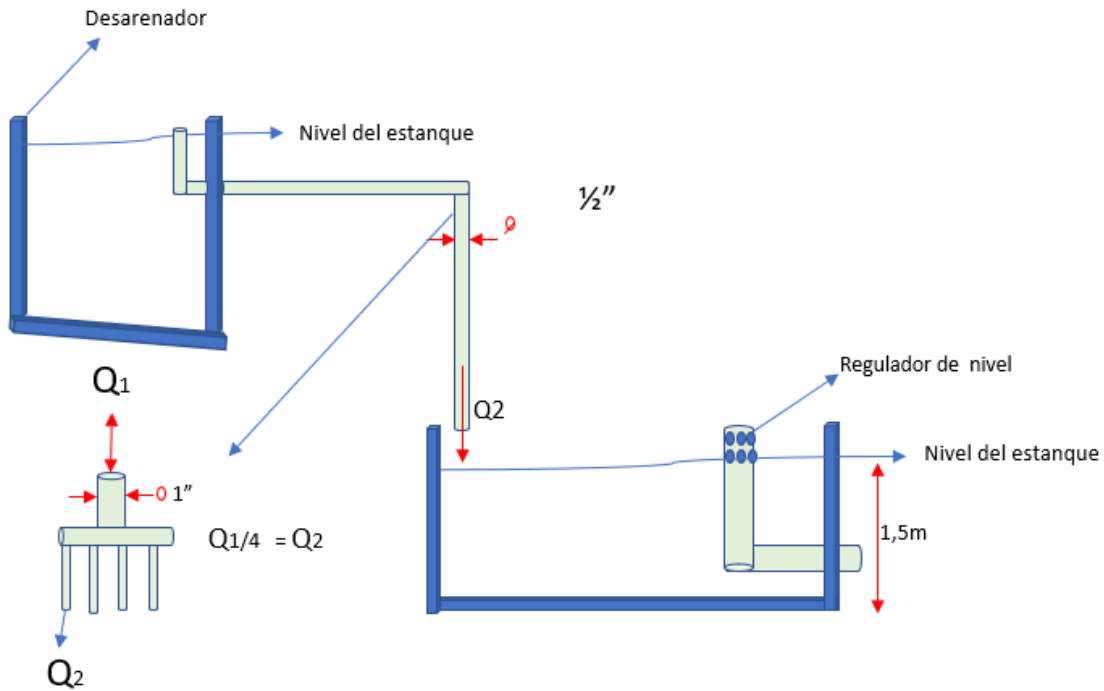
<i>Iteración</i>	<i>Tiempo (s)</i>
<i>1</i>	<i>300</i>
<i>2</i>	<i>295</i>
<i>3</i>	<i>298</i>
<i>4</i>	<i>302</i>
<i>5</i>	<i>297</i>
<i>6</i>	<i>297</i>
<i>7</i>	<i>299</i>
<i>8</i>	<i>298</i>
<i>9</i>	<i>301</i>
<i>10</i>	<i>298</i>
<i>Promedio</i>	<i>298,5</i>

Nota: Fuente Autoría Propia

Se calcula el caudal Q_1 , a través del método volumétrico, tomando 10 iteraciones como muestra, en los tiempos de llenado tomados para cada una de las iteraciones en la Tabla 6

$$Q_1 = \frac{V}{t} = \frac{500l}{298.5s} = 1,67 \frac{l}{s}$$

Figura 8 Diagrama para el número de recambios diarios



Nota: Fuente Autoría Propia

Para calcular el número de recambios diarios, se debe calcular el volumen total del estanque de estudio.

$$ve = 2m * 1,5m * 1,5m = 4500 \text{ l}$$

El caudal 1 se divide en 4 mangueras de 1/2" después de la salida de la manguera de 1" por lo tanto para calcular el caudal 2 se divide en 4

$$Q_2 = \frac{Q_1}{4} = 0,4175 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$Q_1 = \text{Caudal generado manguera de 1"}$

Se realiza la conversión de unidades para el Q_2

$$0,4175 \frac{l}{s} = 36072 \frac{l}{días}$$

Con el objetivo de encontrar el indicador de $NRD = \text{número de recambios diarios}$, se divide el caudal, entre el volumen del estanque de estudio, para encontrar la cantidad de veces que circula el agua por el estanque durante un día (figura 7).

$$NRD = \frac{Q_2}{ve} = \frac{36072 \frac{l}{día}}{4500 l} = 8,016 \frac{\text{recambios}}{día}$$

$Q_2(\frac{l}{s}) = \text{Caudal de estudio para una manguera de } 1/2''$

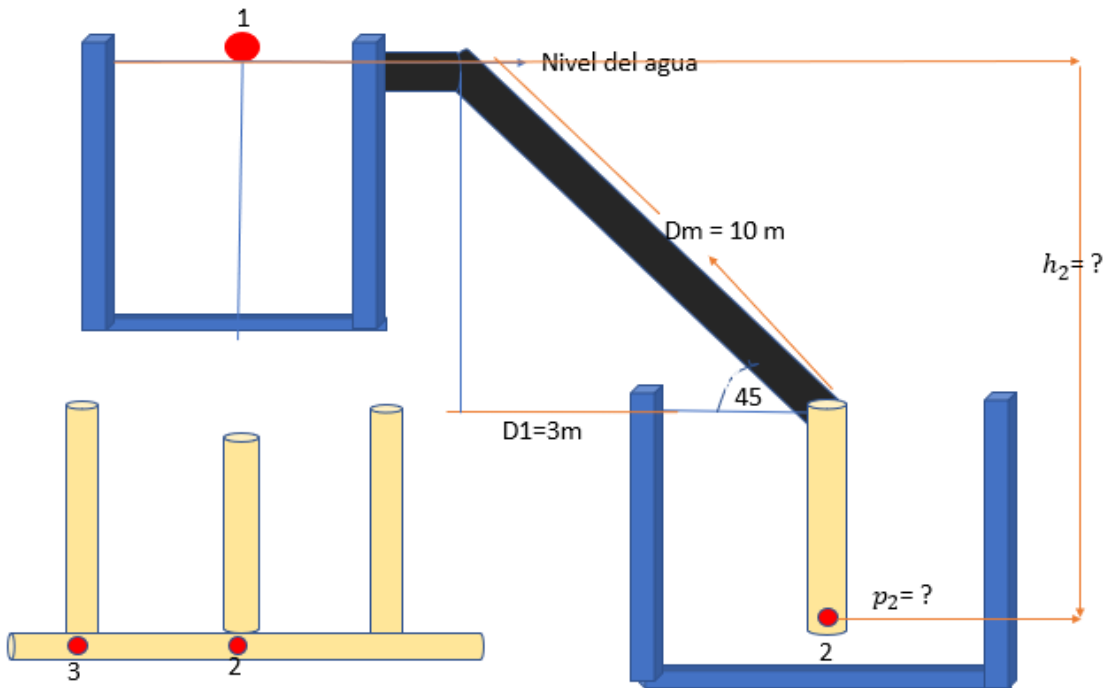
$ve(m^3) = \text{Volúmen del estanque de estudio}$

$NRD(día) = \text{Número de recambios diarios}$

El caudal de agua que entra y sale del estanque, corresponde como mínimo, a dos recambios completos de agua al día, esto, para mantener el estanque en un estado óptimo en el cultivo de trucha.

Para concluir, la cantidad de recambios diarios que calculados en el indicador establece un estado óptimo para el mantenimiento del estanque, evidenciando que la cantidad de recambios es mucho mayor que lo establecido por la literatura para cultivo de la trucha arcoíris.

Figura 9 Diagrama de estudio



En la Figura 8, se puede ver la distribución y organización del sistema de oxigenación, en donde se observa que el punto 2, es el punto tomado como referencia (Para mayor ilustración, observar figura 17).

Se calcula la distancia por medio de la formula

$$\sin 45 = \frac{C_0}{D_m}$$

Despejando D_m cálculo de la distancia hasta el punto 1

$$\sin(45) * D_m = 7,07m$$

$D_m(m)$ = Distancia de la manguera
 $\sin(45)$ = Angulo de inclinacion de la manguera

Se calcula la altura total, h_2 se debe sumar la longitud del tubo, más la distancia encontrada desde el punto 1 hasta la conexión del tubo

$$h_2 = 1m + 7,07m = 8,07m$$

Para calcular la presión en el punto 2, fórmula de presión hidrostática; la presión que ejerce el fluido en el punto sumergido en determinada profundidad.

Para calcular la presión hidrostática se necesita la distancia de la columna de agua que está ejerciendo presión sobre el punto 2, la altura denominada h_2 se calculó con base en la figura 8, utilizando el peso específico del agua:

$$P_2 = \gamma * h_2 = 9810 \frac{N}{m^3} * 8,070 m = 79,166 kPa$$

$h_2(m)$ = Distancia de la columna de agua

$\gamma(\frac{N}{m^3})$ = Peso específico del agua

$P_2(kPa)$ = Presión en el punto 2, debido a la columna de agua

Para calcular la presión absoluta, suma la presión atmosférica con la presión manométrica, para este caso, la presión manométrica es igual a, la presión ejercida por la columna de agua.

$$P_{M+P_A} = P_a = 101,3 kPa + 79,166 kPa = 180,466 kPa$$

$P_{M(kPa)}$ = Presión manométrica

$P_{A(kPa)}$ = Presión atmosférica

$P_a(kPa)$ = Presión absoluta

Con el fin de calcular velocidad en el punto 2, se emplea la fórmula para calcular velocidad transversal, debido a que no hay cambios de diámetro en la tubería, la velocidad es igual hasta el punto 2.

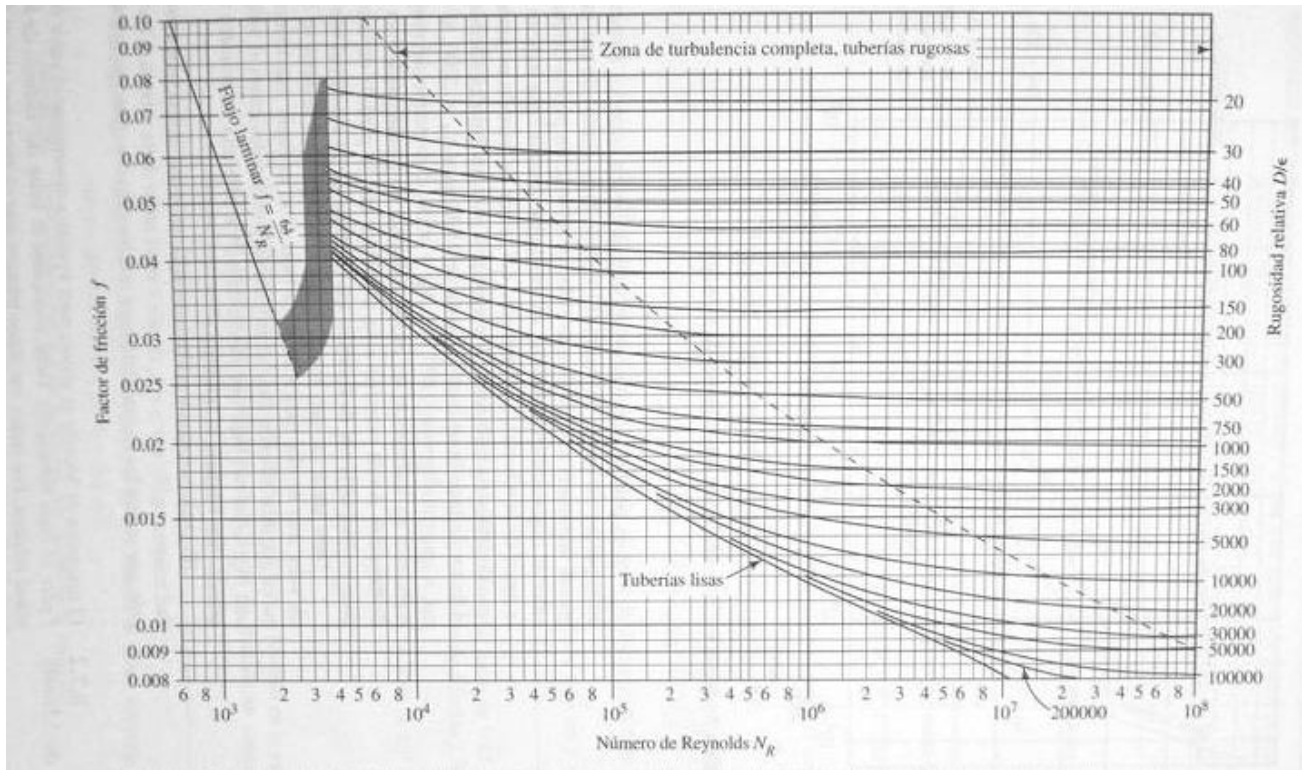
$$V_2 = \frac{Q_2}{A} = \frac{4,175 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{1,266 \times 10^{-4} m^2} = 3,29 \frac{m}{s}, \text{ si } \varnothing = \frac{1}{2}''$$

$A(m^2)$ = Área de la tubería $\varnothing = \frac{1}{2}''$

$Q_2(\frac{m^3}{s})$ = Caudal de la manguera $\frac{1}{2}''$

$V_2(\frac{m}{s})$ = Velocidad punto 2

Figura 10 Diagrama de Moody



Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert mott 6ed

Por medio de diagrama de Moody, se calcula la constante de fricción para las perdidas, según el número de Reynolds y el tipo de material

Seguido a esto, se calcula la velocidad 2 prima, es igual a la velocidad trasversal para el punto 2, ya que no hay cambios de diámetro en la tubería por donde pasa el fluido.

Para aplicar la formula del número de Reynolds, se toma la velocidad 2, ya que la velocidad 2 es la misma velocidad trasversal, debido a que no ocurren cambios de sección en el trayecto de la tubería.

Donde el área de una tubería para un diámetro de (1/2" = 0,0127 m), se calcula como el área trasversal de un cilindro.

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2 = \frac{\pi}{4} * (0,0127m)^2 = 1,266 \times 10^{-4} m^2$$

Se toma la viscosidad relacionada del líquido de estudio, que en este caso es agua a temperatura de 10 grados

$$\mu = 0,001300 \frac{kg}{m*s}$$

Posteriormente, se calcula el número de Reynolds para el agua, por medio de la siguiente formula:

$$NR_e = \frac{D * V * \rho}{\mu} = \frac{0,0127m * 3,29 \frac{m}{s} * 1000 \frac{kg}{m^3}}{0,001300 \frac{kg}{m*s}} = 32140 \text{ flujo turbulento}$$

$V(\frac{m}{s})$ = velocidad trasversal en la tubería

$\rho(\frac{kg}{m^3})$ = densidad del fluido

$\mu(\frac{kg}{m*s})$ = viscosidad relacionada

$D(m)$ = diametro de la tubería por donde pasa el fluido

Se calcula la rugosidad relativa teniendo en cuenta el material, según las tablas del diagrama de Moody y el diámetro de la tubería.

Siendo ϵ una constante para tipo de material, para el caso de estudio, utilizamos PVC = $1,5 \times 10^{-6}$

$$\text{rugosidad relativa} = \frac{D}{\epsilon} = \frac{0,0127m}{0,0000015m} = 8.466$$

$$\frac{D}{\epsilon} (m) = \frac{\text{diametro de la tubería}}{\text{constante rugosidad para PVC}}$$

Obteniendo el valor del número de Reynolds y la rugosidad relativa, se determina el valor de la constante de fricción, utilizando el diagrama de Moody (figura 9).

Utilizando la fórmula de flujo turbulento:

$$f = \frac{0,25}{(\log(\frac{1}{3,7 * \frac{D}{\epsilon}} + \frac{5,74}{NR_e^{0,9}}))^2}$$

NR_e = Numero de Reynolds

$\frac{D}{\epsilon}$ = rugosidad relativa

$$f = \frac{0,25}{(\log(\frac{1}{3,7 * \frac{0,0127m}{0,0000015}} + \frac{5,74}{32140^{0,9}}))^2}$$

Y según la figura 9, el coeficiente de fricción para este caso de evaluación es:

$$f = 0,0233$$

Utilizando la ecuación de pérdidas para tubería Darcy -Weisbach, se calcula las pérdidas por longitud de tubería:

$$H_{f1} = \frac{f * L * V^2}{2g * D} = \frac{0,0233 * 8,07m * 3,29^2 \frac{m}{s}}{19,6 \frac{m}{s^2} * 0,0127m^2} = 8,17 m$$

$f(m)$ = Factor de perdidas longitud

$L(m)$ = Distancia de la tubería

V^2 = Velocidad trasversal

$g(\frac{m}{s^2})$ = Gravedad

$D(m)$ = Diámetro de la tubería

Los accesorios utilizados son de 3 tipos, válvula de bola, corto 45, tees paso directo extremo liso, Codo 90 con bridas o extremo liso.

Figura 11 Coeficiente de perdida

Componente	K	Diagrama
Codos		
Radio corto 90° con bridas o extremo liso	0.3	
Radio corto 90° extremos roscados.	1.5	
Radio largo 90° con bridas o extremo liso	0.2	
Radio largo 90° extremos roscados.	0.7	
Radio largo 45° con bridas.	0.2	
Radio corto 45° extremos roscados.	0.4	
Curvas a 180°		
Curvas a 180° con bridas	0.2	
Curvas a 180° con extremos roscados	1.5	
Tees		
Paso directo con bridas o extremos lisos	0.2	
Paso directo con extremos roscados	0.9	
Salida de lado con bridas o extremos lisos	1.0	
Salida de lado con extremos roscados	2.0	
Union con extremos roscados	0.08	
Válvulas		
Globo totalmente abiertas	10	
Angulo totalmente abiertas	2	
Compuerta totalmente abiertas	0.15	
Compuerta 1/4 cerrada	0.26	
Compuerta 1/2 cerrada	2.1	
Compuerta 3/4 cerrada	17	
Cheque en el sentido del flujo	2	
Bola totalmente abierta	0.05	
Bola 1/3 cerrada	5.5	
Bola 2/3 cerrada	210	

Fuente.: manual HDCA flujo presión

- Válvula de bola totalmente abierta: $K_b=0.05$.
- Radio largo de 90° con brida $K_{RL}=0.3$.
- Radio largo de 90° con brida $K_{RL}=0.3$.
- Paso directo con bridas o extremos lisos: $K_{bd}=0.2$

De acuerdo con el tipo de accesorios que se utilizaron para el diseño del oxigenador, se evalúa el coeficiente de perdidas véase figura 10

$$K_b + 2 * K_{RL} + K_{bd} = H_{F2} = 0,46 m$$

Se calcula las perdidas por tees (K_b), por válvula de bola (K_{RL}) y (K_{bd})

$$K_b = k * \frac{v^2}{2g} = 0,05 * \frac{3,29 \frac{m^2}{s}}{19,6 \frac{m}{s^2}} = 0,027 m$$

$$K_{RL} = 0,3 * \frac{v^2}{2g} = 0,1656 m$$

$$K_{bd} = 0,2 * \frac{v^2}{2g} = 0,110 m$$

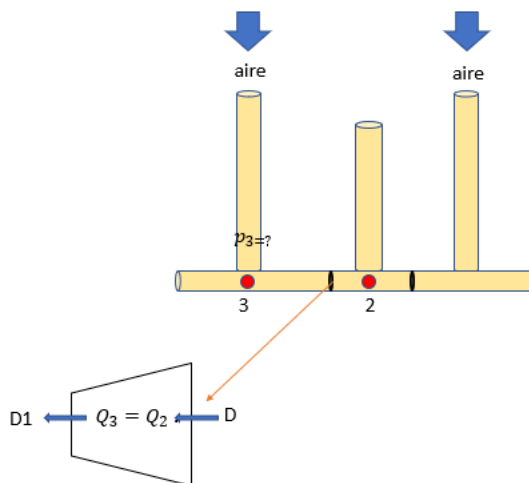
La suma de las perdidas por fricción y perdidas por carga, calcula el valor total para el H_F así podemos calcular la velocidad en el punto 2.

$$H_F = H_{F1} + H_{F2} = 8,17 m + 0,46 m = 8,63 m$$

$H_{F1(m)}$ = Peridas pro fricción

$H_{F2(m)}$ = Perdidas por carga

Figura 12 Diagrama de estudio difusor



fuelle : autoria propia

El objetivo principal del oxigenador, es crear una presión menor a la atmosférica en el punto 3, para que provoque la absorción del aire, que al mezclarse con el agua, oxigena el estanque desde el fondo hasta la superficie, para que esto ocurra:

$$p_3 < p_{atm}$$

El caudal del paso del difusor, es igual al caudal en el punto 2, debido a la conservación de la energía.

$$Q_3 = Q_2$$

Despejando la fórmula de continuidad, se obtiene la velocidad 3 (figura 11).

$$v_3 = \frac{v_2 \cdot A_2}{A_3} = \frac{3,29 \frac{m}{s} * 1,22 \times 10^{-4} m}{7,85 \times 10^{-5} m} = 5,11 \frac{m}{s}$$

$A_3(m)$ = Área de reducción

$v_3(\frac{m}{s})$ = Velocidad después del paso del difusor

$v_2(\frac{m}{s})$ = Velocidad trasversal

$A_2(m)$ = Área de la tubería antes del difusor

De acuerdo a la medida del diámetro del difusor calculamos el A_3 con la fórmula de cálculo del área de sección trasversal ($D_F = 0,010m$)

$$A_3 = \frac{\pi}{4} * D^2 = 7,85 \times 10^{-5} m$$

Para calcular la presión de carga en el punto 3, se utiliza la ecuación del balance de energía, a partir de la cual se despeja el diferencial de presión.

El diferencial de altura se desprecia, debido a que están en el mismo eje de referencia (figura 11)

$$p_2 - p_3 = \gamma \left((z_3 - z_2) + \left(\frac{v_3^2 - v_2^2}{2g} \right) + h_l + H_F \right) =$$
$$-p_3 = (9,81 \frac{kN}{m^3} * \left(\left(0,78 \frac{m}{s} \right)^2 + 0,0497 m + 8,63m \right)) - 180,466 kPa =$$

$$p_3 = 87,66 kPa$$

$h_l(m) = \text{Perdidas por expansión súbita}$
 $H_F(m) = \text{Total de pérdidas por fricción y carga}$
 $p_2(kPa) = \text{Presión absoluta en el punto 2}$
 $\frac{v_3^2 - v_2^2}{2g} \frac{m}{s^2} = \text{Diferencial de velocidad}$
 $z_3 - z_2(m) = \text{Diferencial de altúra}$

Para concluir, la presión es menor que la atmosférica, por lo tanto absorbe el aire, el cual se utiliza para mezclar el agua y darle mayor cantidad de oxígeno disuelto al estanque de estudio.

$$87.66kpa < 101.3kpa$$

Es decir:

$$p_3 < p_{atm}$$

Ahora bien, para calcular la diferencia de presión, se utiliza el concepto de expansión súbita, condensado en la figura 12:

Figura 12 Coeficiente de resistencia expansión súbita

expansion súbita

283

TABLA 10.1 Coeficiente de resistencia-expansión súbita.

D_2/D_1	Velocidad v_1						
	0.6 m/s 2 pies/s	1.2 m/s 4 pies/s	3 m/s 10 pies/s	4.5 m/s 15 pies/s	6 m/s 20 pies/s	9 m/s 30 pies/s	12 m/s 40 pies/s
1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.2	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08
1.4	0.26	0.25	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20
1.6	0.40	0.38	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32
1.8	0.51	0.48	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40
2.0	0.60	0.56	0.52	0.51	0.50	0.48	0.47
2.5	0.74	0.70	0.65	0.63	0.62	0.60	0.58
3.0	0.83	0.78	0.73	0.70	0.69	0.67	0.65
4.0	0.92	0.87	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72
5.0	0.96	0.91	0.84	0.82	0.80	0.77	0.75
10.0	1.00	0.96	0.89	0.86	0.84	0.82	0.80
∞	1.00	0.98	0.91	0.88	0.86	0.83	0.81

fuente: King, H. W. y E. F. Brater, 1963. *Handbook of Hydraulics*, 5a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, tabla 6-7.

Fuente: Mecánica de fluidos Robert Mott, 6 ed

Para calcular las pérdidas por expansión súbita empleamos la fórmula para coeficiente de resistencia

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{0,0127m}{0,01 m} = 1,27 \quad v_2 = 3,29 \frac{m}{s}$$

Se calcula la relación de los diámetros y la velocidad 2, esto, para hallar el coeficiente de resistencia véase (Figura 12)

Según la figura 12, el coeficiente de resistencia igual a:

$$K = 0,09$$

Calculando las pérdidas:

$$h_l = k * \frac{v_2^2}{2g} = 0,0497 \text{ m}$$

De este indicador, podemos deducir que por cada Newton que fluye de agua, se pierde en energía 0,0497 N*m.

6.2. Características del Estanque de Estudio

El estanque al cual se implementa el oxigenador, es fabricado en concreto con un sifón en PVC de dos pulgadas, que facilita el recambio de agua constante, un desnivel en el suelo de 3 grados para evitar la concentración de amonio causada por las heces, también cuenta con un techo hecho de poli sombra para evitar la penetración total de los rayos solares, lo que evita que la temperatura suba y el nivel de oxigenación del tanque no baje drásticamente, cuenta con un nivelador de agua hecho en PVC (Figura 7)

Figura 13 Estaque de investigación



Nota: Fuente Autoría Propia

Tabla 7 Dimensiones del estanque de cultivo

DIMENSION	
LARGO	2 M
ANCHO	1,5 M
PROFUNDIDAD	1,5 M

Nota: Fuente Autoría Propia

6.2.1 Características fisicoquímicas del agua en el estanque de estudio.

Al medir la concentración del OD en el agua contenida en el estanque de estudio (Figura 13), se encontró que no existen diferencias significativamente estadísticas entre los niveles OD y la profundidad en los diferentes periodos de tiempo analizados (Figura 14-15 y Tabla 7-8). Esto se debe posiblemente a que el estanque contaba con una poli sombra que mantenía la temperatura del agua relativamente estable durante todo el día, impidiendo así que se presentaran fluctuaciones del

OD durante el día, de igual forma se debe tener en cuenta en el momento de las mediciones, fue en época de invierno el cual provoco en días anteriores un desbordamiento de la quebrada aledaña a la construcción del punto de toma del agua, ocasionando que se cortaran los suministros del agua y los peces no pudieran obtener oxígeno, también ocasiono destrucción en la casa, cocina y cuarto de almacenamiento de alimento y utensilios para trabajo diario de la finca la Isabela, el cual dejo el estanque sin peces, algas, micro y macro biota, entro otras especies que pueden consumir el OD. Por estos motivos se pude determinar que las concentraciones del OD en el estanque de estudio, son relativamente estables.

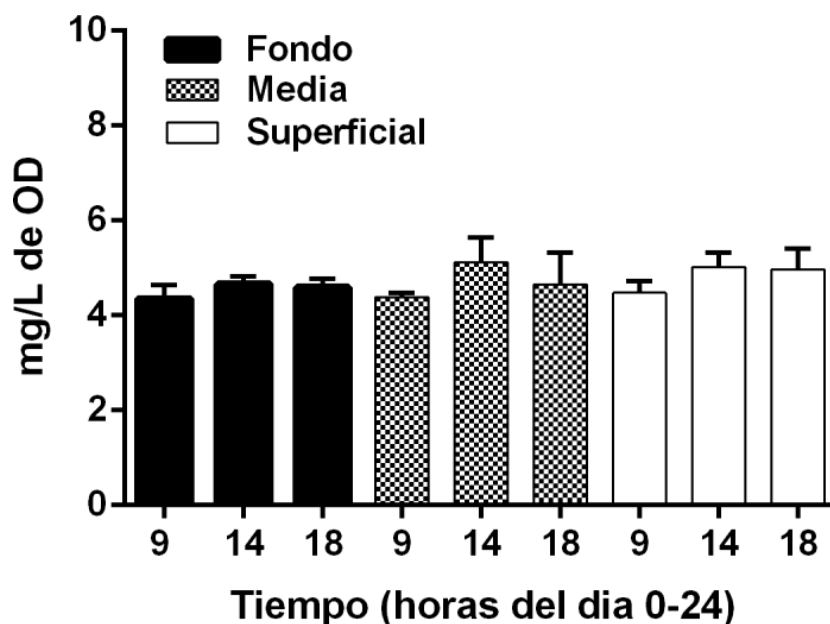
De igual forma se midieron otros factores como el PH (datos no mostrados) y la temperatura en tres periodos del día. En donde no se encontraron diferencias en el PH, sin embargo, la temperatura si fluctuó un poco al observarse un aumento significativo de la temperatura del agua a las 6:pm, únicamente en la superficie del agua (Figura 14-15 y Tabla 7-8). Lo cual era de esperarse debido ala exposición de los rayos solares durante el día. No obstante, se debe tener en cuenta que se pueden dar fluctuaciones de temperatura dependiendo del periodo del año, la presión atmosférica, la altitud sobre el nivel del mar, la radiación absorbida por el agua, el tiempo de exposición a los rayos solares, entre otros factores que ya han sido investigados y reportados [27].

Al analizar los resultados de estos dos factores OD y temperatura, se encontró que pueden ser la causa del bajo rendimiento del cultivo de trucha, ya que como lo menciona la FAO [15] el crecimiento y desarrollo óptimo, buena incubación y reproducción se da en un intervalo de temperatura de 9-14 °C y una concentración de OD entre 6 y 8,5 mg/l y el estanque en promedio presento una temperatura de 18,3 °C y 5,1 mg/l de OD (Figura 14 y 15 -Tabla 8 y 9), y según la FAO

[15] en estas condiciones se genera algo de estrés y se reduce el crecimiento de los peces, lo cual puede ser la causa principal del bajo rendimiento del cultivo de trucha de la finca La Isabela del

corregimiento de Juntas, municipio de Ibagué.

Figura 14 Concentración de OD medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el agua contenida en el estanque de estudio



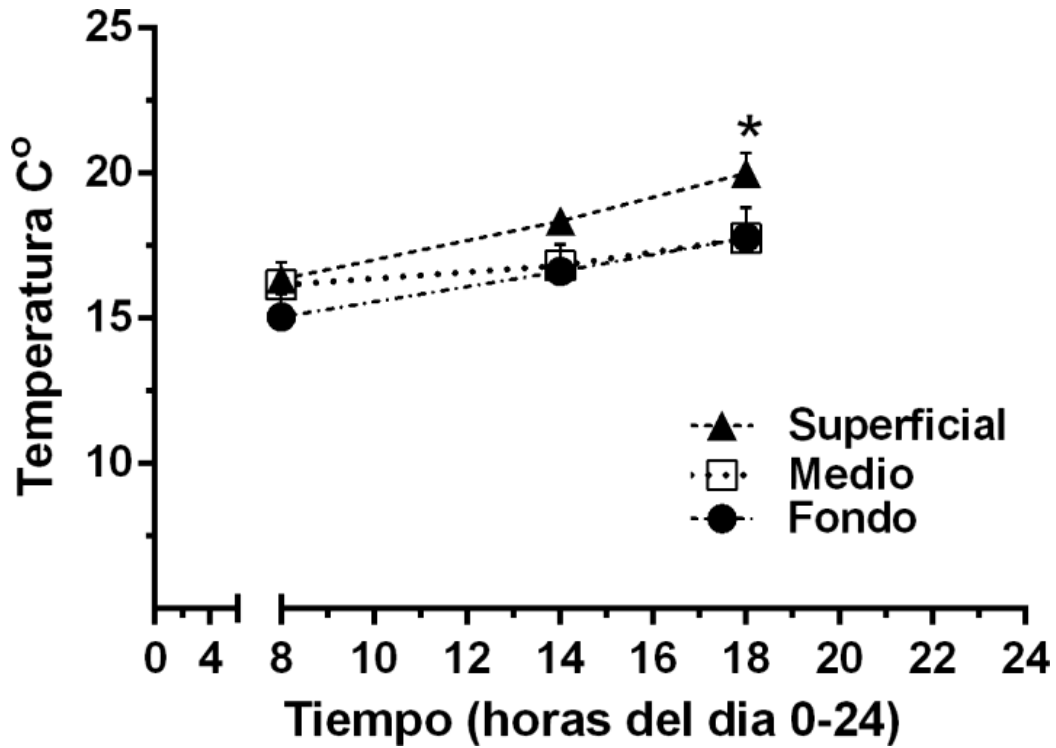
Nota: Las columnas representan la media \pm DE (n=3). *p<0.05 Comparación de todos contra todos (ANOVA de una vía con múltiples comparaciones de tukey). Fuente Autoría Propia.

Tabla 8 Concentración de OD y Ph medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el agua contenida en el estanque de estudio

Concentración de OD (mg/l)	Diferentes profundidades y Periodos del día en horas (0-14)									
	Días	Fondo			Media			Superficial		
		9h	14h	18h	9h	14h	18h	9h	14h	18h
1		4,67	4,80	4,70	4,47	5,71	5,40	4,53	5,05	5,47
2		4,30	4,70	4,70	4,40	4,75	4,45	4,20	5,30	4,70
3		4,10	4,50	4,40	4,30	4,90	4,10	4,70	4,70	4,75
Ph		6,40	5,62	5,59	6,42	5,63	5,59	6,43	5,63	5,60

Nota: Fuente Autoría Propia

Figura 15 Temperatura del agua medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el estanque de experimentación



Nota: Los puntos representan la media \pm DE (n=3). *p<0.05 Comparación entre cada profundidad en determinada hora (ANOVA de una vía con múltiples comparaciones de tukey). Fuente Autoría Propia.

Tabla 9 Temperatura del agua medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el estanque de experimentación

		Temperatura °C en diferentes profundidades								
Periodos del día en horas (0-14)	Días	Fondo			Medio			Superficial		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
	9h	15,60	14,50	14,51	16,70	15,60	16,10	16,70	16,00	16,15
14h	17,26	16,00	17,00	17,34	16,30	17,20	18,00	18,70	18,10	
18h	18,50	17,10	18,01	18,53	17,00	17,20	20,50	19,50	19,35	

Nota: Fuente Autoría Propia

Figura 16 Medición de OD mediante oxímetro en el estanque de estudio



Nota: Fuente Autoría Propia

6.2.2 Diseño del Oxigenador

Para seleccionar el tipo de oxigenador se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 10 Parámetros de evaluación del sistema

Item	Evaluacion	difusor	riego	paletas
mantenimiento	Bueno	costo de mantenimiento correctivo es muy bajo,todas sus piezas son muy faciles de cambiar		
	Medio			los sistemas de paleta tienden a tener una vida util muy larga,sus piezas son unicas se deebn fabricar con tiempo de antelacion y costos muy altos
	Bajo		generalmente el sistema de riego,son circuitos o piezas no comerciales, tambien su mantenimiento es poco practico	
costo	Bueno	costos de oxigenacion por difusor don mas bajos		
	Medio		la infraestructura es mas costosa, pero tambien se puede hacer por gravedad	
	Bajo			los costos son muy altos para granjas pequeñas
sector socioeconomico a impactar	Bueno	Impacto positivamente a los pisciculturos de pocos recursos,posibillita la mejora en sus cultivos con poca inversion		
	Medio		Impacta granjas medianas	
	Bajo			gran escala
consumo energetico	Bueno	el costo de la energia es de 0, ya que el diseño favorece el ahorro energia por medio de la caída de agua sistemas de gravedad	el consumo de agua es intermedio pero no cubre columnas de agua bajas y medias	
	Medio			
	Bajo			costo energetico alto
materiales	Bueno	comercial,facil de adaptar para fabricacion propia		
	Medio		sistemas de riego, la mayoría son importaciones	
	Bajo			muy costosos para fabricacion en granjas pequeñas

Tabla 11 Metodología selección de diseño

Metodología de selección de diseño	
Material	El material fue seleccionado debido sus características relacionadas a su bajo costo
Costo	el precio del material es el mas bajo,dentro de las posibilidades de selección, como lo eran el acero inoxidable y el aluminio
Diametro	se selecciono el diametro que soportara la cantidad de caudal
Condicion de operación y mantenimiento	es un material muy liviano, por lo tanto se puede retirar,limpiar y volver instalar con comodidad por solo una persona , sus piezas son comerciales , esto es una ventaja por el sector en donde se encuentra la finca
Caudal de operación	se realizo la medida por medio del sistema volumetrico en un tanqueta de 500L,contabilizando el tiempo que tomaba en llenarse
Tipo de industria	piscola, por lo tanto se deben tratar materiales que no afecten la calidad de los peces mientras dichos materiales se encuentrn en contacto con un mismo ecosistema
Disponibilidad de la ubicación de la finca	conseguir PVC en la vereda el caimito es mucho mas adsequible, que los otros materiales que cumplan con las características que se necesitan para una buena higene y calidad de los peces

Nota: Autoría propia

6.2.3 Criterios de diseño

El desarrollo del prototipo de oxigenador piscícola de bajo costo se diseñó teniendo en cuenta los siguientes criterios:

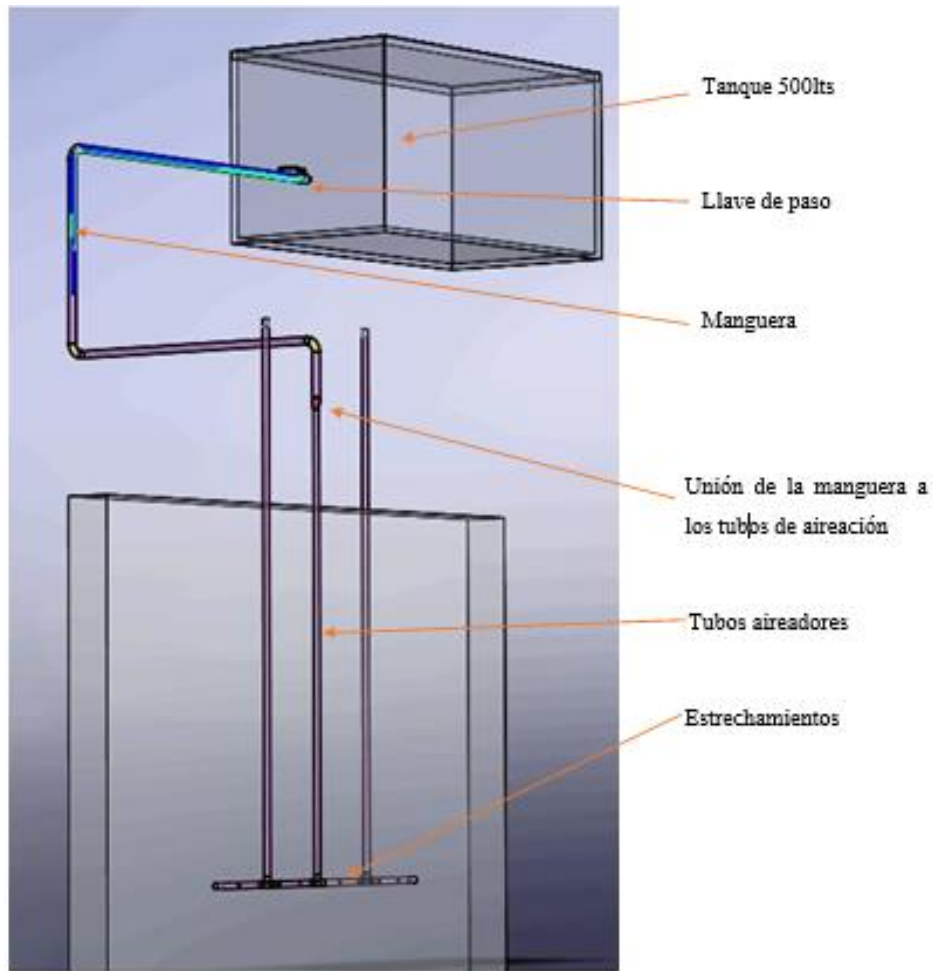
- 1 **Valor económico.** El oxigenador debe ser de muy bajo costo en relación con el beneficio ofrecido, en términos de OD.
- 2 **Temperatura.** La ubicación de la finca la Isabela se encuentra en el cañón del Combeima (Ibagué, Tolima). La temperatura ambiental varía entre los 15 y 25°C, mientras que la temperatura

promedio del agua está en un intervalo entre 6 y 12°C, de acuerdo con eso se tomó la decisión de usar tubería en PVC que soporta estos rangos de temperatura.

- 3 **Instalación.** Se utilizaron estanques de cemento con las medidas ya establecidas, a una distancia de la bocatoma de agua alrededor de 200 metros, con un tanque de 500 litros utilizado como trampa de arena y filtro.
- 4 **Distancia.** El recorrido entre el estanque de estudio y la trampa de arena era de 100 metros con una inclinación adecuada para que el agua llegara hasta el oxigenador por medio de la fuerza de gravedad, sin costos energéticos.
- 5 **Caudal.** Cantidad de agua en determinado tiempo que se incorpora en el tanque, se recoge y conduce a través de una maguera (1 pulgada). los cálculos de ingeniería se basaron con base en el volumen de agua entrante (dato suministrado por el fabricante).
- 6 **Comportamiento de los peces** .Se detectó que la concentración y distribución de OD no eran adecuadas, debido a que la mayoría de los peces no nadaban en círculos en el centro del estanque, se hacinaban en las esquinas grandes grupos elevados de peces, también se agrupaban en las zonas más elevadas de oxígeno aumentando así el riesgo de contraer enfermedades y aumentar la tasa de mortalidad, se hizo el diseño de tal forma que una parte del caudal que entra en el estanque llegara desde el fondo del estanque para mejorar la distribución del OD en la zona media del estanque.

En la figura 17, se aprecia el diagrama general del prototipo implementado en la Finca la Isabela:

Figura 17 Diagrama del oxigenador piscícola.



Nota: Fuente Autoría Propio

6.2.1 Simulaciones

Las simulaciones que dan soporte al diseño del proyecto se encuentran en los Anexos 1,2,3, los planos que evidencian la estructura del oxigenador se elaboraron usando software solidworks, herramienta idónea para el diseño y planteamiento de planos en 3D.

En ellos se pueden observar las dimensiones del tanque, la distancia en la cota que hay hasta la pared del estanque, donde se encuentra el oxigenador, de igual forma la estructura del oxigenador compuesta por dos tubos que cumplen la función de la teoría Venturi donde causan depresión y así toman el oxígeno del ambiente y disolviéndolo en el agua, para ser distribuido por el tubo perforado desde el fondo del tanque. El software solidworks también permitió diseñar elementos esenciales para la fabricación del oxigenador como la válvula de bola, los acoples y el tubo de perforado (Anexo 4).

6.3.1. Selección de los componentes comerciales para la construcción del oxigenador.

Los materiales se eligieron según sus características físicas que les otorgan resistencia a la presión y temperatura como lo es el PVC y la válvula de esfera de latón (Tabla 12, 13 y figura 18).

Tabla 12 Características de la resistencia de la Tubería PVC

Presión Nominal de Trabajo a 23°C			
pulg.	PSI	pulg.	PSI
1/2	600	2	280
3/4	480	2.1/2	300
1	450	3	260
1.1/4	370	4	220
1.1/2	330	6	180

Nota: [28]

Tabla 13 Características físicas de la Tubería PVC

Diámetro Nominal		Referencia	Peso	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Promedio
mm	pulg.			mm	pulg.	mm	pulg.	
21	1/2	2900266	218	21.34	0.84	2.37	0.09	16.60
26	3/4	2900210	304	26.67	1.05	2.43	0.09	21.81
21	1/2	2902449	157	21.34	0.84	1.58	0.06	18.18
33	1	2900213	364	33.40	1.31	2.46	0.09	28.48
26	3/4	2900237	189	26.7	1.05	1.52	0.06	23.63
33	1	2900220	252	33.4	1.31	1.60	0.06	30.20
42	1.1/4	2900225	395	42.2	1.66	2.01	0.08	38.14
48	1.1/2	2902450	514	48.3	1.90	2.29	0.09	43.68
60	2	2902453	811	60.3	2.37	2.87	0.11	54.58
73	2.1/2	2900230	1185	73.0	2.87	3.48	0.14	66.07
88	3	2900233	1761	88.9	3.50	4.24	0.17	80.42
114	4	2900240	2904	114.3	4.50	5.44	0.21	103.42
168	6	2904616	5835	168.3	6.62	8.03	0.32	152.22
60	2	2900246	655	60.3	2.37	2.31	0.09	55.70
73	2.1/2	2900248	964	73.0	2.87	2.79	0.11	67.45
88	3	2900251	1438	88.9	3.50	3.43	0.13	82.04
114	4	2900254	2376	114.3	4.50	4.39	0.17	105.52
168	6	2904617	4759	168.3	6.62	6.48	0.25	155.32
88	3	2900256	1157	88.9	3.50	2.74	0.11	83.42
114	4	2900258	1904	114.3	4.50	3.51	0.14	107.28
114	4	2900261	1535	114.3	4.50	2.79	0.11	108.72

Nota: [28].

Figura 18 Ficha técnica de la válvula de esfera de latón.

Válvulas de esfera, roscables, alta presión 600 psi

- Presión máxima: **4,137 kPa / 600 psi**
- Para agua, aceite y gas WOG (Water, Oil, Gas)
- Paso completo
- Alta frecuencia de operación
- Apertura rápida



FABRICADAS EN LATÓN NIQUELADO
PARA MÁXIMA DURACIÓN

CÓDIGO	CLAVE	MEDIDA	CAJA	MASTER
49475	ESRO-1/2X	1/2" (13 mm)	3	24
49476	ESRO-3/4X	3/4" (19 mm)	3	24
49477	ESRO-1X	1" (25 mm)	3	24
49478	ESRO-1-1/4X	1 1/4" (32 mm)	2	12
49479	ESRO-1-1/2X	1 1/2" (38 mm)	2	12
49480	ESRO-2X	2" (50 mm)	2	12

MÍNIMO A SURTIR 1 (ESRO-1-1/4X, ESRO-1-1/2X, ESRO-2X)

Nota: [29]

6.4. Construcción del Oxigenador Piscícola

El prototipo diseñado y construido cumple con el efecto Venturi, debido a que consiste en una serie de tubos con orificios, en donde actúa una fuerza que acelera el fluido al entrar en estos y otra fuerza que lo desacelera al dejarlo; la reducción de presión en el intercambio genera una succión de aire en el oxigenador creando una mezcla de agua y aire saturada.

Este tipo de sistemas, son muy económicos, no genera consumo eléctrico y presentan una excelente tasa de difusión de oxígeno, presentándose únicamente como desventaja, que pueden llegar a forzar los equipos de bombeo si no son correctamente instalados.

6.4.1 Materiales utilizados

Para la construcción del oxigenador se necesita:

- 4 tubos de $\frac{1}{2}$
- 3 T
- Manguera de $\frac{3}{4}$
- Unión de manguera a tubo $\frac{3}{4}$
- Segueta
- Pegamento para estructura PVC
- Lámina de plástico 10cm x 20 cm (2 Circunferencias de $\frac{1}{2}$)

Una vez se dispuso de los materiales se comenzó con el procedimiento de ensamblaje de los tubos de $\frac{1}{2}$, por medio de PVC en T (Ver figura 19).

Figura 19 Ensamblaje de los tubos aireadores



Nota: Fuente Autoría Propia

Se acoplan al sistema dos tubos PVC con agujeros (6 en cada tramo de la tubería), por donde saldrá el agua a presión (Ver figura 20).

Figura 20 Estrechamientos (Agujeros en los tubos)



Nota: Fuente Autoría Propia

Una vez ensamblado el sistema, los tubos se fijan a la pared del tanque por medio de 2 grapas plásticas y se conectan con la manguera a presión por medio de una unión (Ver figura 21).

Figura 21 Unión de manguera suministradora de agua a los tubos de aireación



Nota: Fuente Autoría Propia

La manguera debe conectarse al sistema que va directo al tanque de 500 litros junto a una llave de paso que permite el ingreso del agua a presión (Ver figura 21)

Figura 22 Llave de paso en el sistema de aireación



LLAVE-DE-PASO

Nota: Fuente Autoría Propia

6.5. Validación de la eficiencia del oxigenador piscícola, a través de la medición del porcentaje de saturación OD, y el consumo del agua empleada en la manutención del estanque.

Al evaluar la eficacia y eficiencia del prototipo de oxigenador en un estanque dedicado a la piscicultura la finca La Isabela del corregimiento de Juntas, municipio de Ibagué, se observó que el funcionamiento del oxigenador no modificó la temperatura del estanque en ninguna de las profundidades y en los periodos de tiempo evaluados. Sin embargo, al analizar la saturación de OD en el agua del estanque, se evidencian diferencias significativas en los niveles de OD, puesto que la implementación del oxigenador aumento las concentraciones de OD (Figura 23 y Tabla 14).

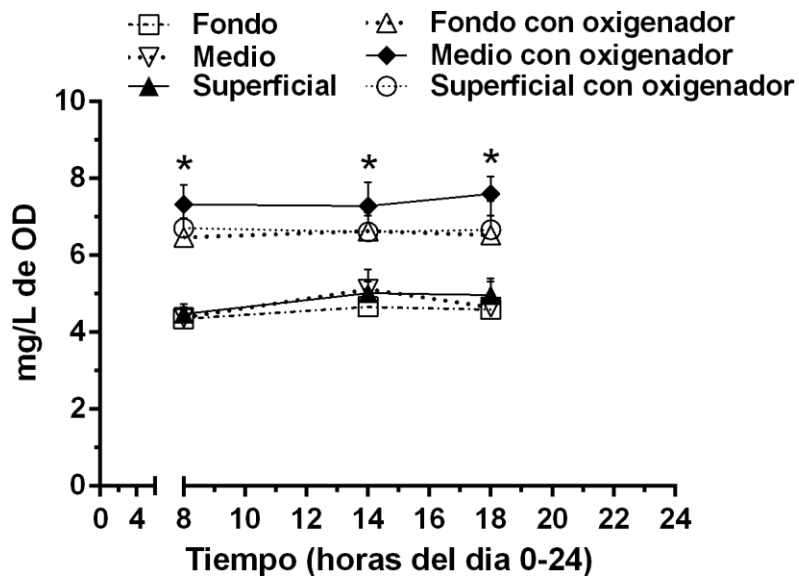
Las concentraciones de OD promedio en las diferentes profundidades y periodos de tiempo evaluados en el estanque era de 4,69 mg/l (Figura 23 y Tabla 14), mientras que con la ayuda del oxigenador las concentraciones se elevaron aproximadamente a 6,66 mg/l, indicando así, que en promedio aumento la saturación de OD en 1,9 mg/l en todo el estanque (Figura 23 y Tabla 14). El aumento de las concentraciones de OD en el estanque es vital para garantizar el desarrollo adecuado de los peces, en ese sentido se determina que el prototipo de oxigenador es útil, eficaz, eficiente y de bajo costo económico, pues los recursos necesarios para la fabricación, mantenimiento y operación son bastante bajos, además logro alcanzar el intervalo de OD entre 6 y 8,5 mg/l que propone la FAO [1] para el crecimiento y desarrollo óptimo, buena incubación y reproducción de la trucha.

De igual forma se muestra en la figura 24 y tabla 15 los niveles de saturación con y sin el uso del oxigenador, allí se puede observar claramente la diferencia significativa que existe al momento de usar el oxigenador, inclusive se logra observar un promedio de saturación de 74,52% de

OD como lo es indicado [25][16], teniendo en cuenta que el oxigenador diseñado e implementado en este trabajo cuenta con 12 orificios que permiten la liberación de oxígeno en el agua y además el tanque cuenta con una profundidad mayor a 1 m, lo cual permite el tiempo necesario para que las burbujas se disuelvan generando así una elevada proporción de oxígeno disuelto en el agua.

Por otra parte, se espera que el uso constante del oxigenador derive en el aumento del rendimiento y producción del cultivo de trucha, además de su posible uso por parte de otros piscicultores de cualquier especie de pez y pueda contribuir de esta manera al desarrollo económico de la región mejorando la seguridad alimentaria y la calidad de vida de las personas que se dedican a este tipo de cultivo.

Figura 23 Comparación de las Concentraciones de OD en el agua, con y sin el uso del prototipo de oxigenador, medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el estanque de estudio.



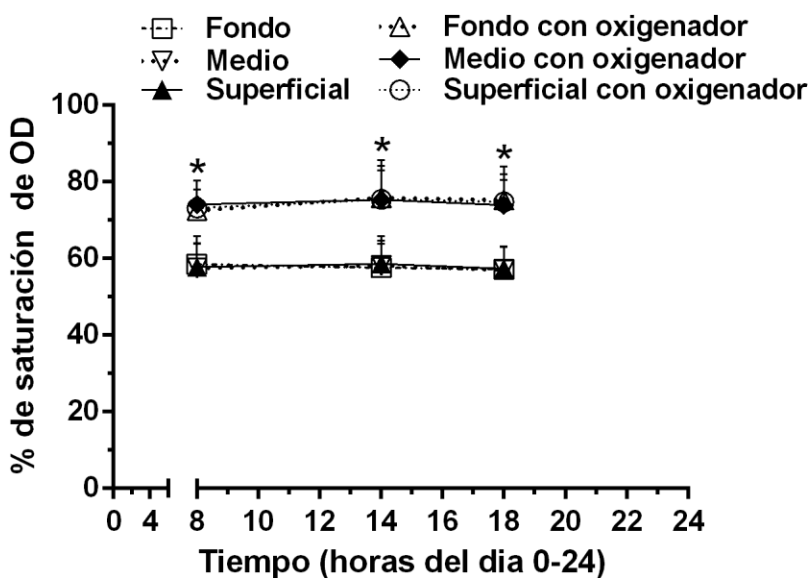
Nota: Los puntos representan la media \pm DE (n=3). * $p < 0,05$ Comparación con o sin el uso del oxigenador (ANOVA de una vía con múltiples comparaciones de tukey). Fuente Autoría Propia.

Tabla 14 Comparación de las Concentraciones de OD en el agua, con y sin el uso del prototipo de oxigenador, medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el estanque de estudio

Periodos del día en horas (0-14)	Concentración de OD (mg/l) en diferentes profundidades										
	Sin el uso del oxigenador	Días	Fondo			Media			Superficial		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
Sin el uso del oxigenador	9h	4,67	4,80	4,70	4,47	5,71	5,40	4,53	5,05	5,47	
	14h	4,30	4,70	4,70	4,40	4,75	4,45	4,20	5,30	4,70	
	18h	4,10	4,50	4,40	4,30	4,90	4,10	4,70	4,70	4,75	
Con el uso del oxigenador	9h	6,67	6,55	6,75	6,47	7,00	7,70	6,53	6,90	6,95	
	14h	6,76	6,70	6,80	7,71	7,20	7,66	6,05	6,65	7,00	
	18h	6,52	6,41	6,70	7,38	7,86	7,96	6,47	6,64	6,80	

Nota: Fuente Autoría Propia

Figura 24 Comparación del porcentaje de saturación de OD en el agua, con y sin el uso del prototipo de oxigenador, medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el estanque de estudio



Nota: Los puntos representan la media \pm DE (n=3). *p<0.05 Comparación con o sin el uso del oxigenador (ANOVA de una vía con múltiples comparaciones de tukey). Fuente Autoría Propia.

Tabla 15 Comparación del porcentaje de saturación de OD en el agua, con y sin el uso del prototipo de oxigenador, medida en diferentes profundidades e intervalos de tiempo en el estanque de estudio

Periodos del día en horas (0-14)	Porcentaje de saturación de OD en diferentes profundidades										
	Sin el uso del oxigenador	Días	Fondo			Media			Superficial		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Sin el uso del oxigenador	9h	60,80	60,30	50,50	61,80	60,40	50,30	62,50	60,20	50,70
		14h	61,60	60,70	50,50	63,00	60,75	50,90	64,90	60,30	50,70
		18h	60,60	60,70	50,40	60,50	60,45	50,10	60,70	60,70	50,75
	Con el uso del oxigenador	9h	76,20	70,47	70,97	81,20	70,83	70,33	78,70	70,71	70,21
		14h	87,10	70,57	70,07	84,20	70,89	70,99	85,60	70,61	70,11
		18h	85,40	70,53	70,03	81,60	70,17	70,07	83,10	70,94	70,44

Nota: Fuente Autoría Propia

6.6. Costos de Fabricación, Operación y Mantenimiento del Oxigenador.

Tabla 16 metodología costos de fabricación, operación y mantenimiento

Items	Frecuencia de uso	Items utilizados	Costos
Fabricación	1 día	Tubo PVC Tubo ½ in x6m Presión 13.5- 315 psi	\$ 120.000,00
		Universal 1in presión 13.5-315 psi	\$ 20.000,00
		Tanque 500 L Litros Negro Eternit	\$ 278.000,00
		Pegante PVC en Húmedo 1/8 GALON	\$ 49.900,00
		Manguera ½ " 20 m	\$ 80.000,00
			\$ -
operación	Lunes A sabado	CEPILLO DE CERDAS PEQUEÑAS	\$ 7.100,00
		RETAZOS DE TELA	\$ 1.000,00
		tiempo del empleado en el mantenimiento de los estanques y alimentación	\$20000/día
		agua (finca la isabela cuenta con recursos hidricos)	\$ -
Mantenimiento preventivo	Limpieza general de todo el sistema mensual	Jabon	\$ 2.000,00
	Cambio de la reducción de diametro "difusor" cada dos meses	Lamina PVC	\$ 3.000,00
	ajuste de los tornillos, que sostienen el oxigenador ala pared de concreto, semanal	Tornilloa	\$ 5.000,00
Mantenimiento correctivo	Cada vez que se requiera cambiar alguna parte del oxigenador por desgaste, generalmente se considera 6 meses un tiempo adecuado	Tubo PVC Tubo ½ in x6m Presión 13.5- 315 psi	\$120000/ semestral
TOTAL costos fijos			\$ 498.000,00
TOTAL costos variables			\$ 158.100,00

Nota: autoría propia

Aquí se relacionan todos los elementos necesarios para la construcción del prototipo de oxigenador y sus respectivos valores en la tabla 16 y 17.

Tabla 17 Descripción y valores de los elementos necesarios para la fabricación del oxigenador

Recurso	Fuente de Financiación Estudiante
Tubo PVC Tubo ½ in x6m Presión 13.5- 315 psi	\$120.000
Universal 1in presión 13.5-315 psi	\$20.000
Codo 1 in Pavco	\$6.300
Tanque 500 L Litros Negro Eternit	\$278.000
Pegante PVC en Húmedo 1/8 GALON	\$49.900
Manguera ½ “ 20 m	\$80.000
Valor	\$554,000
Subtotal	\$554 .000
DISEÑO	\$0000
MANO DE OBRA	\$0000
COSTO DE MANTEMINETO PREVENTIVO Y CORRECTIVO	\$ 149.000
COSTO DE MANUTENCION	

cepillo de cerdaspequeñas	\$ 7.100
retazos de tela	\$1000
jornal	\$ 40.000
TOTAL	\$595.000

Nota: Fuente Autoría Propia

7. Conclusiones

- El difusor de oxígeno diseñado cumple con la distribución de oxígeno en las columnas bajas de agua, garantizando así, el aumento de la saturación de OD, que paso de 50.10% hasta un 87.10%, cumpliendo con los estándares mínimos requeridos, para obtener un cultivo de trucha con óptimo rendimiento. Por lo tanto, se evidencia la eficiencia del oxigenador respecto al cultivo de la finca la Isabela.
- Se elevó la concentración en 1,966 mg/l de OD en el estanque, pasando de un promedio de 4.69 mg/l a 6.66 mg/l y alcanzando niveles de saturación de hasta el 87.10%, la temperatura del estanque permaneció entre los 14.5C° y 20. 5C°, estos valores se encuentran dentro de los rangos recomendados para la producción de trucha. El aumento de la producción se relaciona directamente con el aumento del oxígeno disuelto en el agua, según la literatura.
- El diseño permite acelerar el proceso de recambio de agua, por lo tanto, se considera que el prototipo mejora el manejo del recurso hídrico de la finca la Isabela, al permitir un mayor recambio y utilidad del recurso hídrico a través de la oxigenación, mejorando la eficiencia del estanque, permitiendo aumentar la cantidad de biomasa por metro cubico.
- El diseño del prototipo se ajustó de manera correcta, a la profundidad y tamaño del estanque, así como a las condiciones de caudal mínimo experimentadas en la finca la Isabela, permitiendo elevar el porcentaje de OD, ubicándolo dentro de las condiciones optimas para el cultivo de la trucha, según la literatura investigada.
- El documento evidencia el fácil manejo del oxigenador y su básico mantenimiento por medio de un manual de uso, lo que permite una posible masificación de este prototipo y

tener un impacto positivo en la comunidad piscicultora del corregimiento de Juntas.

- Se evidencia l potencial importancia que tendría replicar a otros cultivos de pequeña escala o cultivos para consumo propio, que hacen parte del corregimiento al que pertenece la finca la Isabela.
- Los costos de fabricación, mantenimiento y operación son muy bajos, puesto que el consumo de energía es despreciable y los materiales para su construcción son muy económicos tanto así que su valor es cerca de dos veces menos que el de los oxigenadores que se encuentra actualmente en el mercado.
- Según las mediciones realizadas, se identificó que la presión de vacío que se ejerce después del difusor es menor que la presión atmosférica, lo que permite mezclar el aire con el agua y aumentar el oxígeno disuelto, esto da cuenta de los acertados cálculos ingenieriles aplicados al prototipo.

8. Bibliografía

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), “Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoíris,” 2014.
- [2] M. Merino, G. Salazar, and D. Gómez, “Guía práctica para la piscicultura en Colombia,” *Subgerencia de Pesca y Acuicultura*, 2006. <https://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Guia-Practica-de-Piscicultura-en-Colombia.pdf> (accessed Sep. 27, 2021).
- [3] Ochtopor, “Piscicultura y sus inicios,” 2014. .
- [4] Alcaldía de Ibagué, “Plan de desarrollo económico de Juntas,” *Secr. planeación*, 2020.
- [5] P. Makridis, N. Hovden, and M. Gausen, “La Oxigenación en la Acuicultura,” *International Aqua Feed*, 2018. <https://aquafeed.co/entrada/la-oxigenacion-en-la-acuicultura-20546/> (accessed Sep. 27, 2021).
- [6] J. A. Hoyos R, “Análisis del sector piscícola en el departamento del Tolima,” *Aun. (Autoridad Nal. Acuic. y pesca)*, 2019, Accessed: Sep. 27, 2021. [Online]. Available: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/12224>.
- [7] C. J. Torres González, V. M. Landassuri-Moreno, J. J. Carbajal Hernández, and J. M. Flores Albino, “Predicción de oxígeno disuelto en acuicultura semi-intensiva con redes neuronales artificiales,” *Res. Comput. Sci.*, vol. 120, no. 1, pp. 159–168, 2016, doi: 10.13053/rcs-120-1-14.
- [8] H. Rodríguez Gómez and E. Anzola Escobar, “La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura,” in *Fundamentos de acuicultura continental*, Tercera., Bogotá, 2001, pp. 43–74.

- [9] S. Corrales, “Estanques,” in *Nociones de Piscicultura de agua dulce*, E. CALPE, Ed. Madrid, 1936, p. 5763.
- [10] S. Corrales, “Piscicultura de agua dulce,” in *Nociones de Piscicultura de agua dulce*, E. CALPE, Ed. Madrid, 1936, pp. 15–22.
- [11] M. C. Merino, G. Salazar, and D. Gomez, “Guía Práctica de Piscicultura en Colombia.” Bogotá – Colombia, pp. 10–80, 2006.
- [12] Agrotendencia, “Cultivo de trucha - Manejo, producción y más,” 2020. <https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivo-de-la-trucha/> (accessed Sep. 30, 2021).
- [13] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR, “Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia ,” *AUNAP Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca*, 2019. <https://www.aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Plan-Nacional-para-el-Desarrollo-de-la-Acuicultura-Sostenible-Colombia.pdf> (accessed Sep. 30, 2021).
- [14] Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, “Manual de Crianza de Trucha en Ambientes Convencionales.” Lima-Peru, pp. 6–71, 2014, [Online]. Available: https://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL_TRUCHA.pdf.
- [15] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), “Acuicultura: principales conceptos y definiciones,” *FAO*, 2020. <http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/aquaculture-defs.htm> (accessed Sep. 27, 2021).
- [16] A. González, “Construcción de un oxigenador de agua impulsado por energía solar.,” Universidad de Los Andes, Bogotá, 2007.
- [17] Khanacademy, “¿Qué es la ecuación de Bernoulli? ,” 2019. <https://es.khanacademy.org/science/physics/fluids/fluid-dynamics/a/what-is-bernoullis-equation> (accessed Sep. 30, 2021).

- [18] R. Mott, *Mecánica de fluidos aplicada*, Cuarta. Prentice Hall Hispanoamericana, SA, 1996.
- [19] N. Bulmaro, “El efecto Venturi: Importancia y aplicaciones,” 2020. <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/08/efecto-venturi.html> (accessed Sep. 30, 2021).
- [20] M. Ruiz Garrido, “Desarrollo de modelo numérico para la detección de cavitación en tubos Venturi mediante técnicas CFD,” Jul. 2020, Accessed: Sep. 30, 2021. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/147877>.
- [21] R. D. Valbuena-Villarreal and P. Cuz-Casallas, “Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis sp.*),” *ORINOQUIA*, vol. 10, no. 1, pp. 57–63, 2006.
- [22] O. Galli Merino and F. Sal, “Sistemas de Recirculación y Tratamiento de agua.” Santa Ana-Corrientes-Argentina, pp. 2–36, 2007.
- [23] AgriExpo, “Oxigenador por microoxigenación - EcoMat - acquaeco - para la acuicultura,” 2020. <https://www.agriexpo.online/es/prod/acquaeco/product-185909-106311.html> (accessed Oct. 01, 2021).
- [24] JardinesDeAgua, “Aireadores para estanque. Oxigena el agua. octubre 2021,” 2020. <https://jardinesdeagua.com/aireadores-para-estanque/> (accessed Oct. 01, 2021).
- [25] C. Boyd and J. Moore, “Factors affecting the performance of diffused-air aeration systems for aquaculture,” *J. Appl. Aquac.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–12, 1993.
- [26] P. Soler, “Cálculo del caudal ,” 2019. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/formula-caudal/> (accessed Nov. 26, 2021).
- [27] D.-A. Ulises and C.-B. J. Gonzalo, “Estudio del comportamiento térmico de agua para uso residencial en tinacos de concreto y polietileno en un clima cálido-subhúmedo,” *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 16, no. 4, pp. 573–583, Oct. 2015, doi: 10.1016/J.RIIT.2015.09.009.

[28] Pavco, “Manual Técnico tubosistemas Presión PVC.” p. 7, 2020.

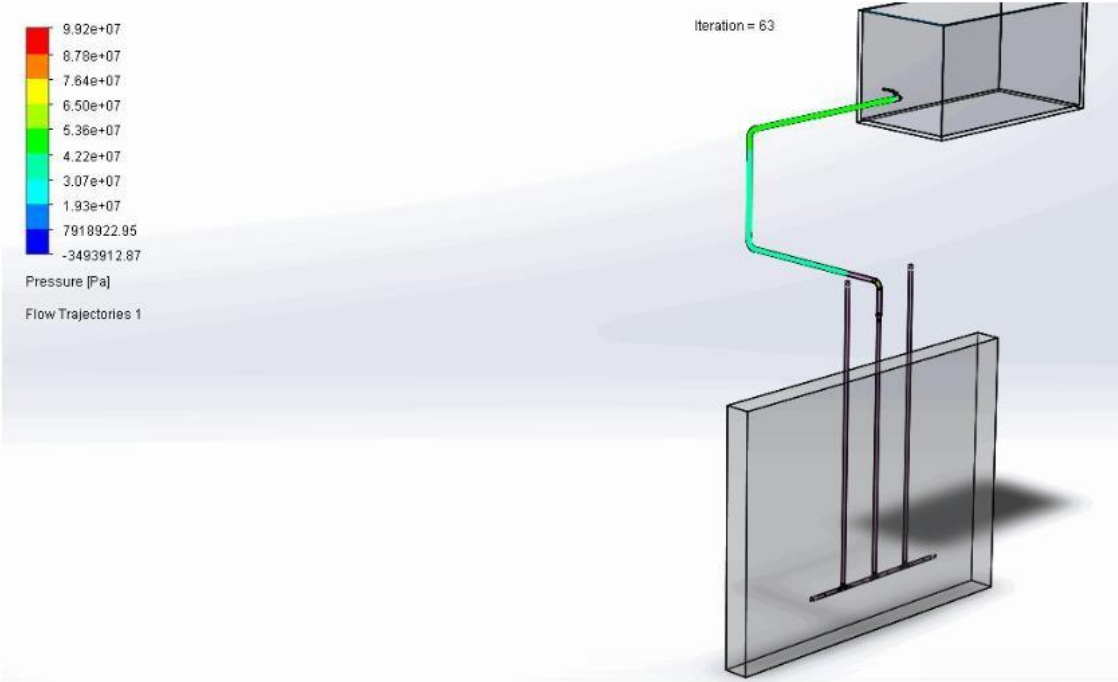
[29] Truper SA, “Válvulas de esfera, roscables, alta presión 600 PSI,” 2021.
<https://www.truper.com/valvulas-de-esfera-roscables-alta-presion-600-psi.html> (accessed Nov. 17, 2021).

ANEXOS

- Anexo (1) Plano general del sistema en donde se ve en conjunto todo el diseño.
- Anexo (2) Diseño hecho en 3D por medio del programa solidwork.
- Anexo (3) Imagen de simulación del sistema por medio del programa solidwork.
- Anexo (4) Planos generales de la estructura del oxigenador.
- Anexo (5) Manual de uso y mantenimiento del sistema.

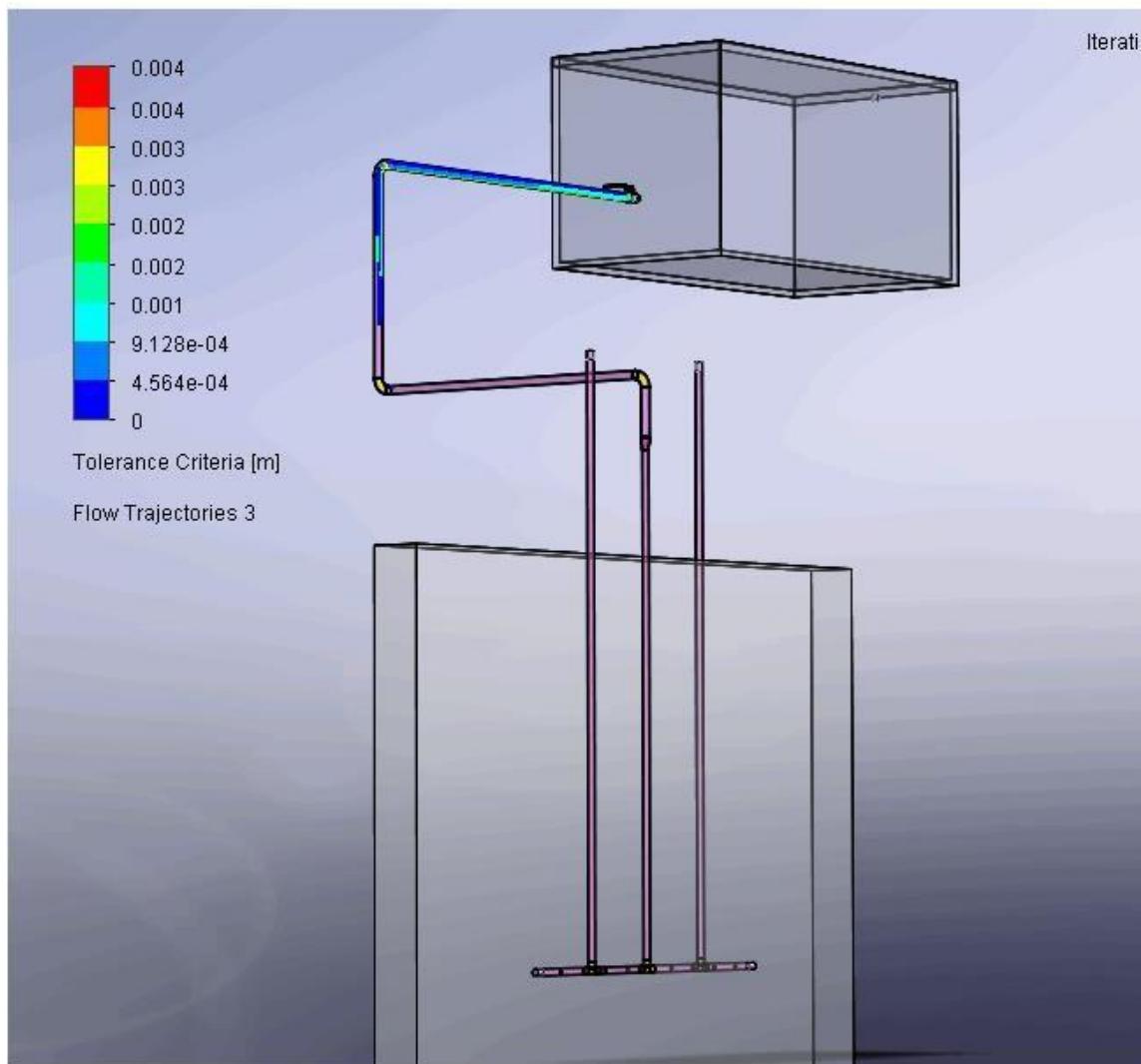
-Validación del sistema por medio de solidwork, teniendo en cuenta parámetros de diseños, logrando realizar varias iteraciones.

Anexo (1). Simulación 1. Validación del sistema



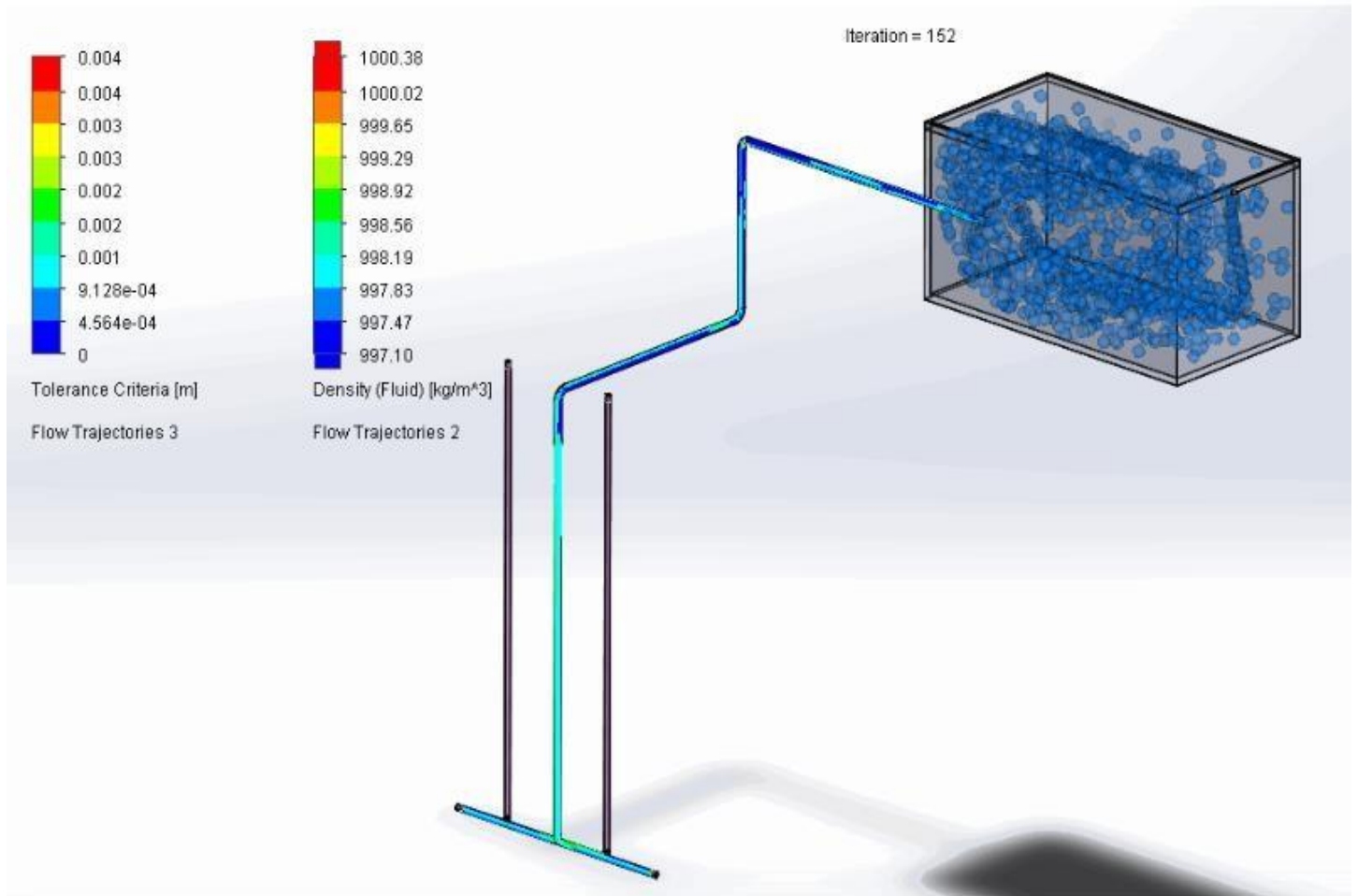
Nota: Fuente Autoría Propia

Anexo (2). Simulación 2. Validación del sistema



Nota: Fuente Autoría Propia

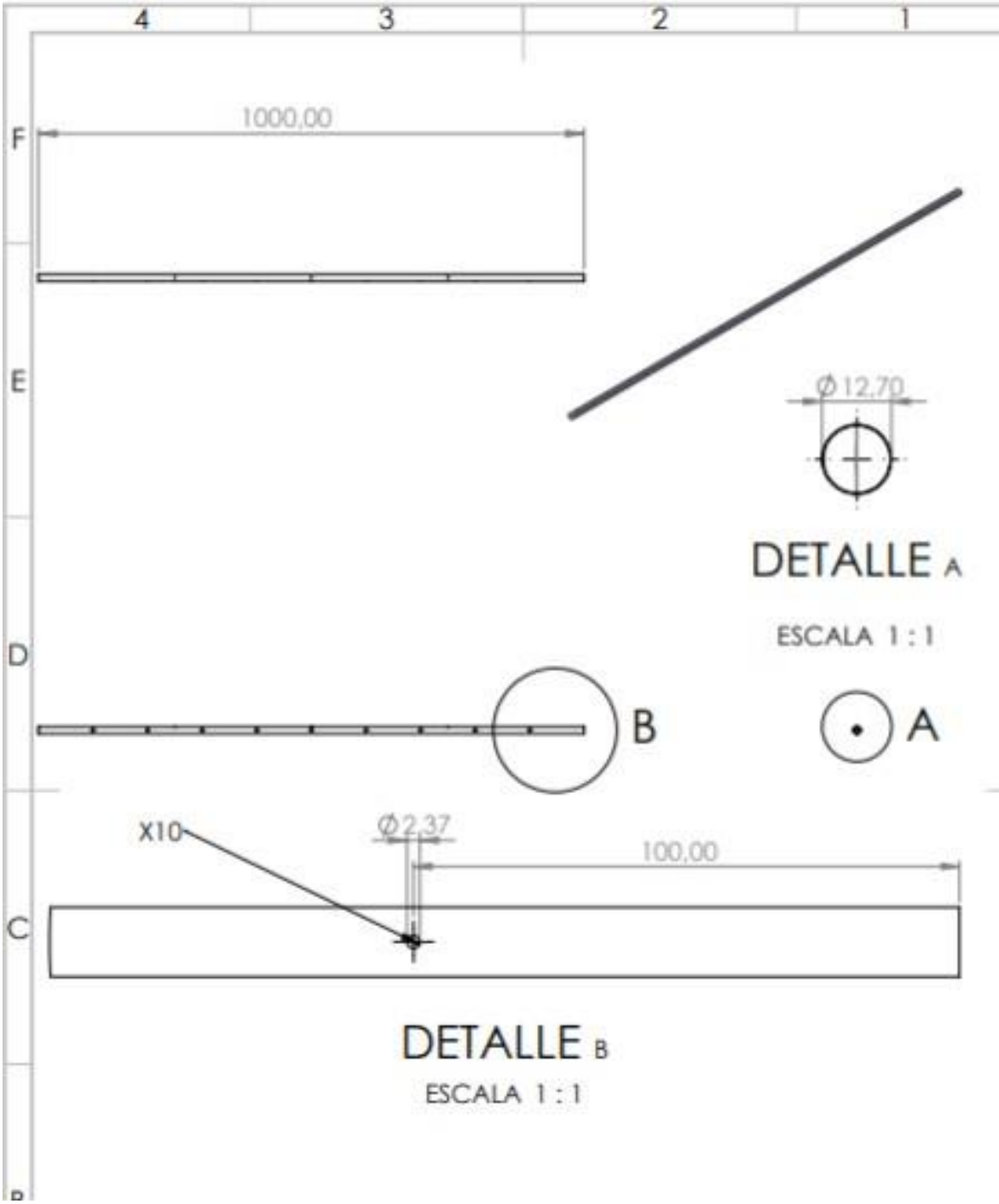
Anexo (3). Simulación 3. Validación del sistema



Nota: Fuente Autoría Propia

Nota: Fuente Autoría Propia

Planos del tubo de perforado.



- El material de la tubería es PVC
- Distancia entre en agujeros es de 3 cm

Nota: Fuente Autoría Propia

Anexo (5).

**MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO
DEL OXIGENADOR PISCÍCOLA.**



1. Características Estructurales

Para aumentar los niveles de producción acuícola, la mejor opción es incrementar la densidad de los cultivos, invirtiendo y seleccionando en equipos de aireación acorde a los requerimientos específicos.

Los componentes básicos del oxigenador son tubos PVC Tubo ½ in x 6m, que soportan una presión 13.5- 315 psi y manguera.

Ilustración 1.



Nota: Fuente Autoría Propia

Para dar inicio al funcionamiento del sistema (oxigenador piscícola de bajo costo) Los tubos de aireación (Ilustración 1) son abastecidos mediante un tanque con una capacidad de 500 litros de agua. El suministro de agua puede iniciar o parar por medio de la llave de paso que comunica el tanque de suministro con el resto del sistema. Se debe esperar que el tanque de suministro llegue al nivel adecuado para abrir la llave de paso que conecta las mangueras con la tubería del oxigenador, el uso del oxigenador para los estanques de trucha, es vital para el cultivo al ser su principal método de recambio de agua y suministro de oxígeno disuelto, por lo tanto una vez se da inicio al funcionamiento del oxigenador, aclarando que el funcionamiento del oxigenador deberá ocupar las 24 horas del día a menos que sea un mantenimiento planeado por la truchera.

2

CAPÍTULO MANTENIMIENTO

2. Consideraciones sobre el mantenimiento.

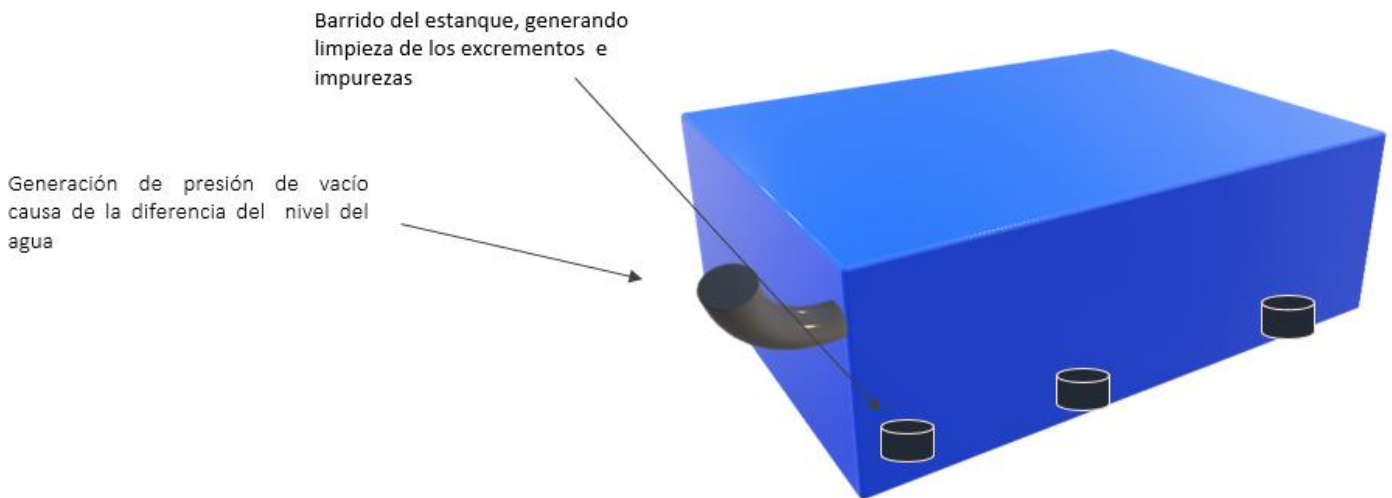
- Sólo el personal capacitado por el fabricante podrá realizar el mantenimiento o la puesta a punto del oxigenador, ya que eso asegura el mejor aprovechamiento del oxigenador y complementa su fácil manejo y mantenimiento

- Antes de realizar el mantenimiento del oxigenador, por favor verifique que la llave de paso que suministra el agua hacia los tubos de aireación se encuentre totalmente cerrada.

- El estanque que deja de recibir oxígeno disuelto durante el proceso de mantenimiento debe contar con otro tipo de oxigenación hasta que el sistema de oxigenación se encuentre listo para poner en marcha nuevamente.

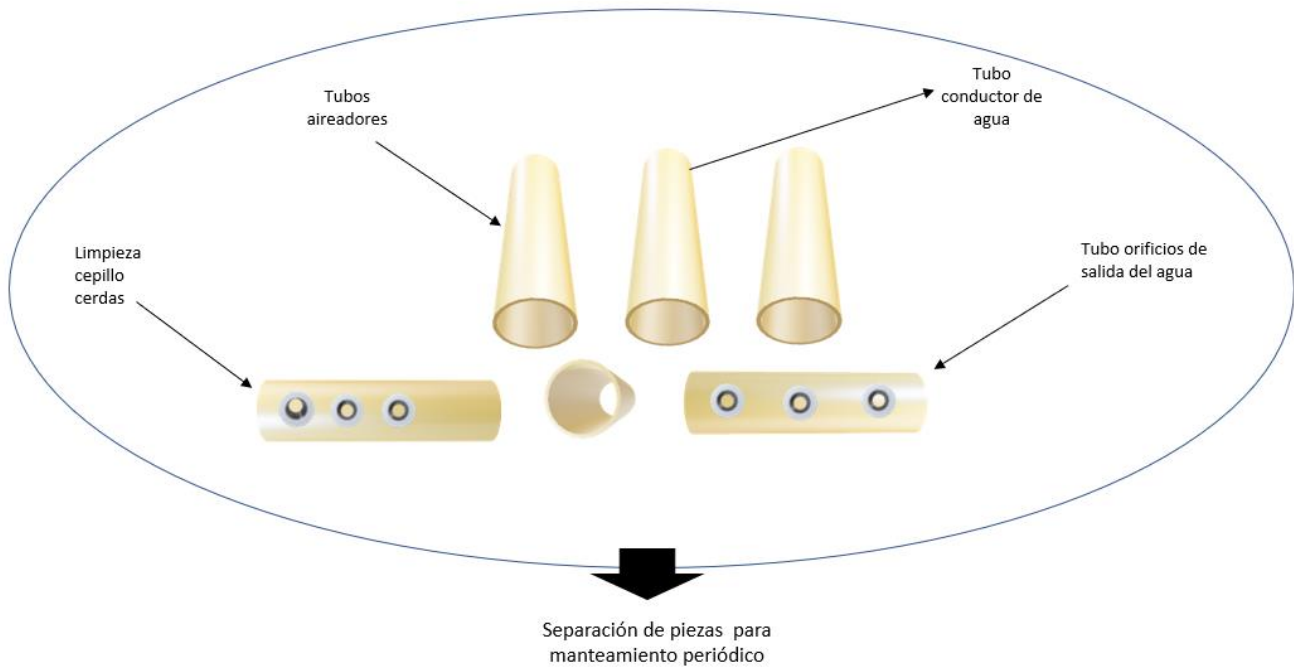
-

2.1. Limpieza tanque de agua y tubos de aireación.



- Se debe realizar una limpieza periódica del tanque de agua, con el objetivo de desarenarlo.

2.2. Mantenimiento



- Los orificios por donde sale el agua a presión en los tubos deben ser limpiados con cepillo, para remover el exceso de suciedad y restos de vegetación.

- Para cambiar los accesorios solo se debe desajustar las uniones o accesorios que tienen sistema de roscado.

- Para cambiar la tubería se debe ejercer un poco de fuerza, rasgando el pegamento, pasar una cantidad de pegamento en las partes a cambiar y volver unir por medio de presión y fuerza

2.3. Recomendaciones



- Es recomendable cambiar la tubería como mínimo cada 6 meses cuando se vean demasiado mohosos, o presenten desgaste o algún tipo de fractura soltando los tubos a presión y luego realizando el ensamblaje de los nuevos, utilizando pegamento Pvc.

-

- La manguera que conecta el tanque de agua con el resto del sistema, es recomendable limpiarla de forma adecuada en su parte interior, desinfectando con un cuarto de pastilla de cloro disuelto en agua, vertiendo el agua clorificada por el interior de la manguera, después de desinfectar la manguera debe estar en reposo durante una hora para evitar concentraciones de cloro en el estanque de trabajo

- Desinfectar y lavar cada mes, dejando el oxigenador en reposo durante una hora después de lavar completamente, para evitar que al estanque lleguen partículas de jabón (detergente en polvo).

-