

DISEÑO DE UN SISTEMA TECNIFICADO PARA EL AUMENTO DE LA  
PRODUCTIVIDAD PISCÍCOLA EN LA FINCA “LA LAGUNA” EN EL MUNICIPIO  
DE SAN PABLO DE BORBUR, BOYACÁ.



NATALIA CONTRERAS PEREZ  
BAYRON NICOLAS AVILA HURTADO

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
SOACHA  
CUNDINAMARCA  
2019

DISEÑO DE UN SISTEMA TECNIFICADO PARA EL AUMENTO DE LA  
PRODUCTIVIDAD PISCÍCOLA EN LA FINCA “LA LAGUNA” EN EL MUNICIPIO  
DE SAN PABLO DE BORBUR, BOYACÁ.



NATALIA CONTRERAS PEREZ  
BAYRON NICOLAS AVILA HURTADO

REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

DIRECTOR DE PROYECTO: FRANKLIN MONTENEGRO  
CO-DIRECTORA: ANA MARÍA CAMACHO

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
SOACHA

2019

Nota de aceptación:

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Soacha, Cundinamarca. 12 de abril del 2019

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, queremos dedicar este trabajo a Dios por darnos sabiduría y fuerza para nunca rendirnos durante la elaboración de este proyecto. A nuestros padres por acompañarnos en el proceso y siempre brindarnos apoyo incondicional, tanto personal como académico.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por siempre estar presente en mi vida y guiarme en el camino para poder culminar este proyecto satisfactoriamente.

Le agradezco infinitamente, a mi madre Luz Marina Pérez Franco por ser el motor de mi vida, por ser la persona que siempre me ayuda y me apoya en todas las decisiones que tomo, por aconsejarme, por enseñarme valores, por enseñarme a ser una mujer fuerte frente a las adversidades y por sacarme adelante a pesar de las dificultades. También agradezco a mi familia, porque siempre han estado pendientes de mi proceso educativo y me han brindado su ayuda cuando lo he necesitado.

Por otro lado, agradezco a Don Ricardo Ávila quien es el dueño de la finca en la que está basada la tesis, porque siempre estuvo dispuesto a colaborarnos y a brindarnos toda la información necesaria, y que, además, nos llevó hasta la finca en donde pudimos hacer el trabajo de campo.

También agradezco a nuestros tutores Ana María Camacho y Franklin Montenegro porque fueron las personas que nos guiaron, nos aconsejaron, compartieron todos sus conocimientos con nosotros y nos ayudaron en la elaboración del trabajo de grado, siempre estuvieron de acuerdo con la idea y a pesar de todo el tiempo transcurrido nunca desistieron de ayudarnos. También, agradezco a los demás docentes que con sus conocimientos nos aconsejaron, nos dieron su opinión y nos aclararon muchas dudas sobre aspectos específicos del trabajo.

A mis amigos y compañeros con los que he compartido durante la carrera y que me han ayudado en diferentes momentos de la vida.

Finalmente, agradezco a mi compañero Nicolás por siempre compartir sus conocimientos conmigo y enseñarme muchas cosas nuevas, por sus consejos, su ayuda incondicional, su compañía, su paciencia, su optimismo, su alegría, su humildad, su esfuerzo y compromiso con el trabajo y porque a pesar de todas las dificultades que tuvimos, nunca dejó que me rindiera.

Natalia Contreras Pérez

Agradezco a mis padres Vilma Mireya Hurtado Romero y Ricardo Ávila García, quienes me han dado sus enseñanzas, inculcando siempre buenos valores para lograr ser una buena persona hoy en día, también es gracias a ellos que por su apoyo incondicional me llevaron a poder realizar mi carrera profesional.

A mi familia quienes me dieron buenos consejos y brindaron su apoyo para la realización de este proyecto.

A la profesora Ana María Camacho quien siempre confió en nosotros desde el principio de la tesis, nos brindó todo su apoyo y todos sus conocimientos para la culminación del presente proyecto.

A el profesor Franklin Montenegro quien con sus experiencias en el tema nos guio de la manera más certera y nos dio buenos consejos para el desarrollo del presente proyecto.

A todos mis compañeros que conocí en el transcurso de mi carrera, donde compartí muchas experiencias de vida y de quienes me llevo muchas enseñanzas.

A Natalia quien es una mujer admirable, que por su carácter y decisión me ha dado unas lecciones de vida que me han llevado a ser una persona más integral. También, por su dinamismo que nos ha hecho salir de percances que se han presentado, y que por su bondad, apoyo y amor que me ha brindado, me dio fuerzas para poder seguir adelante con este proyecto.

Nicolás Ávila.

## TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO I	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.1 PREGUNTA PROBLEMA	10
1.2 JUSTIFICACIÓN	11
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4 ANTECEDENTES	14
1.5 ALCANCE	16
1.6 LIMITACIONES	16
CAPÍTULO II	17
2. MARCO CONCEPTUAL	17
2.1 DEFINICIÓN DE ACUICULTURA	17
2.2 ¿QUÉ ES PISCICULTURA?	17
1) PISCICULTURA INTENSIVA	17
2) PISCICULTURA SEMI-INTENSIVA	17
3) PISCICULTURA SÚPER-INTENSIVA	17
4) PISCICULTURA EXTENSIVA	17
2.2.1 ESTANQUES Y CRECIMIENTO	19
2.2.1.1 PERIODO OVAL	20
2.2.1.2 PERIODO LARVAL	20
2.2.1.3 PERIODO DE ALEVINAJE	20
2.2.1.4 PERIODO JUVENIL	20

2.2.1.5 PERIODO ADULTO	21
2.3 PRODUCTIVIDAD	21
2.3.1 PRODUCTIVIDAD EN ACUICULTURA	21
3. MARCO TEÓRICO	22
3.1 IMPORTANCIA DE LA PISCICULTURA PARA LA ECONOMÍA	22
3.2 CONTRIBUCIÓN A LA NUTRICIÓN	24
3.3 PRODUCCIÓN MUNDIAL	25
3.4 FORMAS DE PRODUCCIÓN EN COLOMBIA	27
3.4.1 ¿QUÉ ES LA TILAPIA?	27
3.4.2 ALIMENTO DE LA TILAPIA	28
3.4.3 REPRODUCCIÓN	29
3.4.4 CRECIMIENTO	29
3.5 REQUERIMIENTOS DE PRODUCCIÓN ACUÍCOLA	29
3.5.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	30
3.5.1.1 OXIGENACIÓN	30
3.5.1.2 TEMPERATURA	32
3.5.1.3 pH	32
3.5.1.4 TURBIDEZ O TRANSPARENCIA	33
3.6 CÓMO MEJORAR LA OXIGENACIÓN EN LA ENTRADA DE AGUA	33
3.7 SISTEMAS TECNIFICADOS	36
3.7.1 SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN ACUÍCOLA (RAS)	36
3.7.2 SISTEMA DE AIREACIÓN	36
3.7.3 TECNOLOGÍA BIOFLOC (BTF)	37
4. MARCO LEGAL	38
4.1 “Ley 13/90 y el decreto 2256/91”	38
4.2 “Decreto 155 del 2004”	38

4.3 “Decreto 3930 de 2010”	38
4.4 “Decreto 2667 de 2012”	38
4.5 “Resolución 0631 del 2015”	38
4.6 “Resolución 1142 del 2015”	39
4.7 “Resolución 3518 del 2015”	39
4.8 “Corporaciones Autónomas Regionales (CAR)”	39
4.9 “Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos – INVIMA”	39
5.1 MÉTODO DIETER	40
5.1.1 FASE 1. RECONOCER LA NECESIDAD	40
5.1.2 FASE 2. DEFINIR LA PROBLEMÁTICA	40
5.1.3 FASE 3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	40
5.1.4 FASE 4. CONCEPTUALIZACIÓN	41
5.1.5 FASE 5. EVALUACIÓN	41
5.1.6 FASE 6. COMUNICACIÓN DEL DISEÑO	41
CAPÍTULO III	42
6. METODOLOGÍA	42
6.1 ZONA DE ESTUDIO	42
6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	43
6.3. ASPECTOS PARA EL DIAGNOSTICO	43
6.3.1 INFORMACIÓN GENERAL EN LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN ACUICOLA	43
6.3.1.1 MEDICIÓN DE MOVIMIENTO DE AGUA.	44
6.3.2 ELABORACIÓN DE PLANOS.	44
6.3.3 MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA.	44
6.4 CARACTERIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES	44
6.4.1 CUADRO COMPARATIVO	44
6.4.2 TOMA DE DECISIONES	45

6.5 DISEÑO	45
6.6. PROYECCIÓN DE COSTOS	46
6.7 PROYECCIÓN DE PRODUCTIVIDAD	46
7. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA IMPLEMENTADO ACTUALMENTE EN LA FINCA LA LAGUNA	47
7.1 TOMA DE MEDIDAS Y LEVANTAMIENTO DE PLANOS DE ESTADO ACTUAL	49
7.1.2 MOVIMIENTO DE AGUA	51
7.1.3 CAUDAL	52
7.1.4 DESAGÜE ACTUAL	53
7.1.5 MEDICIONES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA	55
7.2 TIPO DE CULTIVO	56
7.2 PRODUCTIVIDAD ACTUAL	56
7.3 COSTOS	58
7.4 INGRESOS	58
7.5 PRODUCTIVIDAD	59
7.5.1 PRODUCTIVIDAD EN LA PISCICULTURA	59
8. CARACTERIZAR LOS ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN SISTEMA PISCÍCOLA TECNIFICADO	60
8.1 COMPARACIÓN DE LOS TIPOS DE SISTEMAS TECNIFICADOS	61
CAPÍTULO IV	64
9. TOMA DE DECISIONES	64
9.1 SELECCIÓN DE LOS FACTORES DE DECISIÓN	64
9.1.2 FACTORES DE DECISIÓN.	65
9.2 PESO RELATIVO	65
9.3 EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE DECISIÓN	66
9.4 GENERALIDADES QUE APORTAN A LA TOMA DE DECISIÓN	67
10. DESARROLLO DEL DISEÑO DEL SISTEMA PISCÍCOLA	69
10.1 DISEÑO DEL SISTEMA	69

10.2 COMPONENTES DEL ESTANQUE	69
10.3 ABASTECIMIENTO DE AGUA Y CANAL DE ALIMENTACIÓN	70
10.4 ENTRADA DE AGUA	72
10.5 DIQUE	74
10.6 DESAGÜE Y CANAL DE VACIADO	75
10.7 OXIGENACIÓN	76
10.8 TEMPERATURA	81
10.9 PROYECCIÓN DE PRODUCTIVIDAD	84
10.9.1.1 PROYECCIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	85
10.9.1.2 PROYECCIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN ESTIMADOS	86
10.9.2 PROYECCIÓN DE INGRESOS ESTIMADOS	87
10.9.3 PRODUCTIVIDAD	87
10.9.3.1 PROYECCIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN EL PERIODO 1	87
10.9.3.2 PROYECCIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN EL PERIODO 2	88
10.9.3.3 PROYECCIÓN A 5 AÑOS	89
10.9.3.4 VALOR PRESENTE NETO (VPN)	90
10.9.3.5 BENEFICIO / COSTO	91
10.9.3.6 PROYECCIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN LA PISCICULTURA	92
11. CONCLUSIONES	93
12. RECOMENDACIONES	95
13. REFERENCIAS	96
14. ANEXOS	107

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1</b> Producción Mundial de la pesca de captura y acuicultura Fuente: FAO. (2016). Contribución a La Seguridad Alimentaria Y La Nutrición Para Todos. FAO. <a href="https://doi.org/978-92-5-306675-9">https://doi.org/978-92-5-306675-9</a> .....	22
<b>Ilustración 2</b> Utilización y Suministro mundiales de pescado Fuente: FAO. (2016). Contribución a La Seguridad Alimentaria Y La Nutrición Para Todos. FAO. <a href="https://doi.org/978-92-5-306675-9">https://doi.org/978-92-5-306675-9</a> .....	23
<b>Ilustración 3</b> Producción de la Pesca de Captura Marina: Principales países productores, Fuente: FAO. (2016). Contribución a La Seguridad Alimentaria Y La Nutrición Para Todos. FAO. <a href="https://doi.org/978-92-5-306675-9">https://doi.org/978-92-5-306675-9</a> .....	26
<b>Ilustración 4</b> Tilapia, Fuente : <a href="https://jenniesfoods.co.uk/product/red-tilapia-fish/">https://jenniesfoods.co.uk/product/red-tilapia-fish/</a> 28	
<b>Ilustración 5</b> Forma recomendada de caída de agua, Fuente: (FAO, 2016).....	34
<b>Ilustración 6</b> Método de entrada de agua recomendado Fuente: (FAO, 2016) ....	35
<b>Ilustración 7</b> Molino de agua recomendado Fuente: (FAO, 2016).....	35
<b>Ilustración 8</b> Ubicación Finca La Laguna Fuente: Google Maps .....	42
<b>Ilustración 9</b> Estanque Actual, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	47
<b>Ilustración 10</b> Entrada del nacimiento, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	48
<b>Ilustración 11</b> Caída de Agua al Estanque, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	48
<b>Ilustración 12</b> Estanque actual en la finca la Laguna Fuente: Elaboración propia de los autores .....	49
<b>Ilustración 13</b> Plano General del estado Actual del estanque, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	50
<b>Ilustración 14</b> Medición de movimiento de agua .....	51
<b>Ilustración 15</b> Medición de caudal, Fuente: Elaboración propia de los autores....	52
<b>Ilustración 16</b> Desagüe actual, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	53
<b>Ilustración 17</b> Mapa Geográfico de la ubicación de la finca, Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. ....	54

<b>Ilustración 18</b> Flujograma proceso productivo Tilapia, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	57
<b>Ilustración 19</b> El estanque y sus estructuras, Fuente: (FAO,2003) .....	69
<b>Ilustración 20</b> Afluente cercano, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	70
<b>Ilustración 21</b> Entrada de agua: Fuente: Elaboración propia de los autores .....	72
<b>Ilustración 22</b> Salida de agua: Fuente: Elaboración propia de los autores.....	73
<b>Ilustración 23</b> Modelado de estanque, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	74
<b>Ilustración 24</b> Tubo de salida de agua, Fuente: FAO (2006).....	75
<b>Ilustración 25</b> Desagüe, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	75
<b>Ilustración 26</b> Tanque recolector de agua .....	76
<b>Ilustración 27</b> Blower y difusores.....	78
<b>Ilustración 28</b> Modelado de Sistema de Difusores, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	79
<b>Ilustración 29</b> Modelo de bodega, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	80
<b>Ilustración 30</b> Curva de crecimiento de la tilapia para varias temperaturas de agua, Fuente (Martínez et al., 2003).....	81
<b>Ilustración 31</b> Calentador de agua, Fuente: (Martínez y Valencia, 2013).....	81
<b>Ilustración 32</b> Modelado de calentador de agua, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	82
<b>Ilustración 33</b> Diseño de invernadero, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	83
<b>Ilustración 34</b> Grafico de Proyección Financiera con la implementación de la propuesta., Fuente elaboración propia. ....	89

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Comparación de los tipos de Piscicultura .....	19
<b>Tabla 2</b> Comparación de tamaños de peces, Fuente: (Bernal Gil F., 2017) .....	28
<b>Tabla 3</b> Relación de cantidad de oxígeno y efectos, Fuente: (Rodriguez, 2010) ..	30
<b>Tabla 4</b> Clasificación de aguas, Fuente: (Rodriguez, 2010) .....	32
<b>Tabla 5</b> Tabla de costos actuales IVA incluido, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	58
<b>Tabla 6</b> Ingresos actuales IVA incluido, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	58
<b>Tabla 7</b> Condiciones físicas del estanque, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	60
<b>Tabla 8</b> Condiciones fisicoquímicas del agua, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	60
<b>Tabla 9</b> Comparación de sistemas, Fuente: Elaboración propia de autores .....	63
<b>Tabla 10</b> Factores de decisión, Fuente elaboración propia. ....	65
<b>Tabla 11</b> Alternativas: sistemas tecnificados, Fuente: elaboración propia. ....	66
<b>Tabla 12</b> toma de decisiones, Fuente: elaboración propia. ....	66
<b>Tabla 13</b> Proyección de costos de implementación IVA incluido, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	85
<b>Tabla 14</b> Proyección de costos estimados del primer periodo IVA incluido, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	86
<b>Tabla 15</b> Proyección de ingresos estimados del primer periodo IVA incluido, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	87
<b>Tabla 16</b> Proyección de costos estimados del segundo periodo IVA incluido, Fuente: Elaboración propia de los autores .....	88
<b>Tabla 17</b> Proyección Financiera con la implementación de la propuesta., Fuente elaboración propia. ....	89
<b>Tabla 18</b> Flujo de caja y cálculo de VPN., Fuente elaboración propia.....	90
<b>Tabla 19</b> Cálculo de TIR, Fuente elaboración propia .....	91
<b>Tabla 20</b> Cálculo Beneficio/Costo, Fuente elaboración propia .....	91

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Datos del Municipio de San Pablo de Borbur Boyacá, Fuente: Pagina Alcaldía Municipal.....	107
<b>Anexo 2</b> Comparación de los tipos de aeración.....	109
<b>Anexo 3</b> Plano del molino de entrada de agua, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	111
<b>Anexo 4</b> Plano de tubería entrada de agua, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	112
<b>Anexo 5</b> Planos de salida de agua del tubo, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	113
<b>Anexo 6</b> Planos de salida de agua con boquilla agujereada.....	114
<b>Anexo 7</b> Planos de dique, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	115
<b>Anexo 8</b> Planos de desagüe, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	116
<b>Anexo 9</b> Datos de fabricante de difusores, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	117
<b>Anexo 10</b> Planos de sistema de difusor de aire, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	118
<b>Anexo 11</b> Datos del Blower.....	119
<b>Anexo 12</b> Planos de calentador de agua, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	120
<b>Anexo 13</b> Planos de dimensiones invernadero, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	121
<b>Anexo 14</b> Costos de mano de obra, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	122
<b>Anexo 15</b> Costo de energía, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	122
<b>Anexo 16</b> Vida útil de elementos del sistema, Fuente. Elaboración propia de los autores.....	122
<b>Anexo 17</b> Perspectiva general del diseño, Fuente: Elaboración propia de los autores.....	123

<b>Anexo 18</b> Proyecciones de inflación según ANIF, Fuente. Banco de la República 2019.....	124
<b>Anexo 19</b> Método WACC .....	124

## GLOSARIO

- **ESTANQUES:** Son una de las estructuras que corresponden en una finca acuícola, la cual es construida bajo especificaciones que permiten el cultivo eficaz de organismos acuáticos.
- **TILAPIA:** Es el nombre que se le da a un grupo de peces originarios de África, que está constituido por varias especies, algunas con intereses económicos como lo son la especie *Oreochromis*.
- **MONOCULTIVO:** Se refiere en el uso de una sola especie durante todo el proceso.
- **POLICULTIVO:** Se refiere al uso de dos o más tipos de especies en un mismo estanque con el fin de utilizar de una mejor forma el espacio y el alimento que existe.
- **CULTIVO EN JAULAS:** Es mantener organismos en cautiverio dentro de un espacio cerrado, pero con un flujo continuo de agua, estas están suspendidas en el agua y encerrados por todos los lados con rejillas u otros materiales.
- **CULTIVO EN PILETAS DE CONCRETO:** Son sistemas con estructuras de cemento utilizados normalmente en el cultivo de truchas, estos se elaboran de acuerdo al tipo de terreno, especie y sistema de cultivo.
- **ESPEJOS DE AGUA:** Es la superficie de los estanques donde se está realizando el cultivo.

- **ALEVINAJE:** Se considera la fase del proceso productivo que va desde la eclosión hasta el tamaño en el cual los alevines se pueden sembrar para el engorde (1 gr – 30 gr).
- **JUVENILES:** Es la talla del pez a la cual se hace el cambio de alimentación y de espacio para iniciar el engorde (30g – 80g).
- **ENGORDE:** Fase del proceso productivo que se busca la talla comercial del pez (80g – 500g).
- **EMBALSES:** se refiere a un lugar que se usa para almacenar artificialmente las aguas de un río o arroyo.
- **CAPTACIÓN O BOCATOMA.** Se refiere a un elemento cuya función es extraer mediante bombeo o captar por gravedad una cantidad de agua determinada de una fuente.
- **ALMACENAMIENTO.** Elemento que almacena un volumen determinado de agua, que puede estar elaborado por la topografía natural del lugar o puede formarse parcial o totalmente mediante tanques o diques enterrados, semienterrados o elevados.
- **OXÍGENO:** es el elemento fundamental para la vida, requerido por peces y plantas para llevar a cabo procesos vitales como la oxidación de las proteínas, hidratos de carbono y grasas.
- **TEMPERATURA:** Condición física que permite evaluar las sensaciones de calor y frío
- **pH:** Es la concentración de Iones de Hidrogeno en el agua.

## RESUMEN

La finca La Laguna ubicada en el municipio de San Pablo de Borbur Boyacá, cuenta con dos estanques, pero actualmente en sólo uno de ellos se realiza actividad piscícola y el sistema que está implementado es semi-intensivo. El estanque cuenta con un área de 154 m<sup>3</sup> en donde realizan un cultivo aproximado de 1000 peces de la especie Tilapia Roja y en promedio por m<sup>3</sup> de agua se están cultivando 6.4 peces. Según (Alicorp, 2015), en condiciones ideales de calidad del agua, se puede alcanzar un cultivo de hasta 100 peces por m<sup>3</sup>, por lo que actualmente no se está logrando alcanzar la densidad óptima. Es por esto que surge la necesidad de desarrollar el diseño de un sistema tecnificado para el estanque, con el fin de aumentar la productividad actual, mejorando condiciones de oxigenación, pH y temperatura. El desarrollo del proyecto se lleva a cabo mediante una investigación proyectiva y será basada en un diseño documental y de campo. Asimismo, se empleó la metodología propuesta por George Dieter que se basa en 6 fases. Los resultados alcanzados muestran un aumento en la productividad de la actividad piscícola, pasando de 0,328 Kg/m<sup>3</sup>/mes a 1,820 kg/m<sup>3</sup>/mes, donde también se aumenta la productividad global en un 72%. Finalmente, se llega a la conclusión, que con el diseño del sistema tecnificado se logra aumentar la productividad de la actividad piscícola, teniendo en cuenta todas las condiciones de la finca en cuanto a espacio, mano de obra, costos y recursos disponibles.

**PALABRAS CLAVES:** Diseño, Estanque, Productividad, Sistemas Piscícolas, Tilapia Roja.

## **ABSTRACT**

The farm La Laguna is located in the municipality of San Pablo de Borbur Boyacá, has two ponds, but currently is not met in its fish farming activity and the system that is implemented is semi-intensive. The pond has an area of 154 m<sup>3</sup> where there is a culture of 1000 fish of the Red Tilapia species and an average of m<sup>3</sup> of water. 6.4 fish are being cultivated. According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations, under the ideal conditions of water quality, a culture of up to 100 fish per m<sup>3</sup> can be achieved, which is why it is not currently obtaining an optimum production. That is why the need arises to develop the design of a technified system for the pond, in order to increase current productivity, improve oxygenation conditions, pH and temperature. The development of the project is carried out in a projective investigation and will be dependent on a documentary and field design. It is also included in the methodology proposed by George Dieter that is based on 6 phases. The results achieved show an increase in the productivity of the fish farming activity, going from 0.328 Kg / m<sup>3</sup> / month to 1.820 kg / m<sup>3</sup> / month, where the overall productivity is also increased by 72%. Finally, it is concluded that with the design of the technified system it is possible to increase the productivity of the fish farming activity, taking into account all the conditions of the farm in terms of space, manpower, costs and available resources.

**KEY WORDS:** Design, Pond, Productivity, Piscicultural Systems, Red Tilapia.

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura, probablemente es uno de los sectores de producción de alimentos que tiene un crecimiento muy acelerado, actualmente representa casi el 50% de los productos pesqueros mundiales destinados a la alimentación. La definición de acuicultura acoge todos los tipos de explotación de especies acuáticas y plantas, tanto de agua dulce como de agua salada, ésta tiene el mismo fin que la agricultura, lograr una producción controlada de bienes alimenticios para aumentar el abastecimiento del consumo. (FAO, 2015)

También, la piscicultura ha sido definida según (Rivarola, E. 2011) como la actividad encargada de la cría y engorde de peces bajo un manejo adecuado para su desarrollo genético, incubación, alimentación, reproducción y sanidad de las especies. En los últimos 20 años, la producción a nivel mundial ha crecido, especies como la trucha, la tilapia y la cachama han tenido un aumento del 12%, 6% y 26% respectivamente (Arboleda, M. 2010).

Colombia tiene un alto potencial para el desarrollo de esta actividad ya que cuenta con una gran diversidad de especies hidrobiológicas 2.000 peces marinos, 1533 peces dulceacuícolas y también con una gran extensión de área terrestre (1'141.748 km<sup>2</sup>) y marítima (988.000 km<sup>2</sup>) en la que existen zonas adecuadas para realizar la piscicultura, tiene topografías apropiadas, varios pisos térmicos, temperaturas estables durante el año y disponibilidad de recursos hídricos que permiten el cultivo de diferentes especies acuáticas (Colciencias, 2016)

En el contexto de Boyacá, este departamento tiene una participación muy baja en el mercado en cuanto a la producción de peces, ya que solo representa el 2% del total producido en el país (Arbeláez, 2011), es por esto la importancia de realizar el proyecto, ya que se busca que, mediante el diseño de un sistema tecnificado

para el estanque, la productividad de la finca aumente y por ende la participación de la región en el país, adicional esto puede generar más empleo.

Las limitaciones del presente proyecto son principalmente por los costos de transporte hacia la zona de estudio, la disponibilidad de herramientas especializadas para la medición fisicoquímica del agua y la falta de información en el municipio con respecto a las actividades piscícolas de la zona.

En el capítulo I se aborda todo lo relacionado al problema de investigación el planteamiento y su pregunta, se justifica el por qué se va a realizar el proyecto se plantean los objetivos tanto general como específicos y finalmente se hace una descripción de los antecedentes del tema.

En el capítulo II se relaciona todos los temas teóricos que sustentan el problema, se amplían y se explican todos los temas relevantes del proyecto como, por ejemplo, definición y explicación sobre qué es la piscicultura, su importancia, los tipos de piscicultura apoyados en un cuadro comparativo y los requerimientos. Luego se habla de temas relacionados directamente al problema como por ejemplo los sistemas de aireación, la oxigenación, la temperatura y el pH del estanque, adicional se realiza un breve marco legal que hace referencia a toda la reglamentación que rige la actividad piscícola en el país y finalmente se hablará sobre la metodología Dieter que es la que se usará en el desarrollo del proyecto solamente se hará enfoque teórico, es decir explicando que es cada una de sus partes.

En el capítulo III se explica la metodología vista en el capítulo II, pero ya no en un enfoque teórico, sino que se aplica directamente al proyecto, es decir se explica en cada una de sus partes lo que se va hacer. Luego se realiza el diagnóstico del estado actual del estanque, su productividad, las dimensiones, las mediciones fisicoquímicas del agua, el movimiento del agua y el caudal, adicional a esto, se realiza un diagrama de flujo sobre el proceso de producción que se realiza

actualmente, se describe parte por parte. También, se caracterizan los elementos necesarios para elaborar un sistema piscicultor tecnificado y se compara cada uno de los que existen actualmente estos son: sistemas de recirculación (RAS), Sistema de aireación y el sistema BIOFLOC dando a conocer que son, las ventajas e inconvenientes, cómo funcionan, qué objetivo tienen, sus costos y el mantenimiento que requieren.

Para terminar, en el capítulo IV, se define cómo se va a realizar el diseño del estanque, también se describen los factores de decisión, se realiza el levantamiento de los planos, se da a conocer parte por parte lo que compone el diseño, además se hace un análisis de resultados utilizando indicadores de productividad y finalmente las conclusiones, recomendaciones, referencias y se adjuntan todos los anexos.

# CAPÍTULO I

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Aunque cada año el consumo de pescado per cápita ha logrado aumentar de forma continua en las regiones que se encuentran en desarrollo logrando pasar de 5,2 kg en 1961 a 18,8 kg en 2013, existe una diferencia de consumo con los países de bajos ingresos y con déficit de alimentos (PBIDA), pasando de 3,5 kg a 7,6 kg. Este último valor, es inferior al de las regiones más desarrolladas y que a pesar de que esta variación se está reduciendo, existe una brecha amplia con respecto a los países industrializados, cuyo consumo para el 2013 es de 26,8 kg. (FAO, 2016)

También, el cambio climático está modificando la distribución de las especies marinas y de agua dulce, en general según (FAO, 2009), los animales de aguas cálidas están siendo desplazadas hacia zonas más frías como los polos, lo que ha representado en cambios en el tamaño de su hábitat y en su productividad. Además, el incremento de temperatura en las aguas afectaría también los procesos fisiológicos de las especies, lo que daría como lugar a efectos negativos sobre las pesquerías y los sistemas de acuicultura.

En México, Según la (FAO, 2010), no se está aprovechando el potencial de producción que logre aportar a la seguridad alimentaria, debido a que hace falta promover la diversificación y tecnificación de la acuicultura para lograr aumentar la eficiencia productiva, diversificar las líneas de producción e incrementar la rentabilidad económica y social, esto con el fin de satisfacer los mercados internacionales en términos de calidad.

Con respecto a la participación de la pesca y la acuicultura en Colombia, hubo una importante disminución de la producción y la comercialización de pescado ya que pasó de 120 mil toneladas en el año 2001 a un poco más de 60 mil toneladas en-

el año 2011, igualmente se redujo la participación del PIB ya que pasó de 0,5% hace 15 años, a un 0,1% en el 2012 y hay tendencia a la baja por las exportaciones. (FAO, 2015)

A nivel nacional, el departamento del Huila produjo 31.619 toneladas para el año 2011, esto es aproximadamente el 66% de la producción total de tilapia nacional que es de 47.400 toneladas, de esta manera, la cantidad de tilapia producida por este departamento asciende a un valor de ventas estimado de \$132.799,8 millones de pesos, promediando las diferentes presentaciones de dicha producción de tilapia. (Arbeláez, 2011)

A diferencia, Boyacá tiene una participación muy baja en el mercado evidenciado por la producción de tilapia en el 2011 que fue de solo un 2% del total producido en el país, este 2% corresponde a 948 toneladas con un valor de ventas estimados de \$3981,9 millones de pesos. (Arbeláez, 2011)

Lo anterior obedece a que, según el INCODER (Instituto Colombiano de Desarrollo Rural), la baja productividad se puede presentar por malas prácticas pesqueras, la falta de conocimiento en cuanto a especialización local, falta de procesos tecnificados que aumenten la densidad de siembra y la aplicación de modelos de internacionalización. (Heredia, Guzmán, & Gómez Herrera, 2015).

Para poder mantener una buena densidad de siembra, según (Alicorp, 2015), en condiciones ideales de calidad del agua, se puede alcanzar un cultivo de hasta 100 peces por m<sup>3</sup>, por lo que actualmente no se está logrando alcanzar la densidad óptima. Los recambios realizados, permiten tener un flujo constante de oxígeno, mantener un pH neutro al sacar el amonio de los desechos de los peces y mantener una temperatura constante para el óptimo metabolismo de los mismos. (FAO, 2006)

De acuerdo a lo anterior, se identificó que en la finca La Laguna ubicada en la vereda Chizo Cuepar del municipio de San Pablo de Borbur, Boyacá, existe una oportunidad de mejora en el sistema piscícola, donde actualmente hay un estanque con un espejo de agua de aproximadamente 154 m<sup>2</sup> en los cuales se cultivan 1000 peces de tipo tilapia, según información de la FAO sobre el cultivo de peces por m<sup>3</sup> en condiciones ideales del agua, se está perdiendo un potencial de cultivo aproximado de 15.400 peces. Se estima que el problema de la producción puede obedecer a la baja oxigenación, a un incorrecto pH y temperaturas inadecuadas por el tipo de sistema implementado en el estanque.

### **1.1 PREGUNTA PROBLEMA**

¿Cómo optimizar las condiciones de oxigenación, pH y temperatura en el estanque, mediante el diseño de un sistema tecnificado que pueda aumentar la productividad de la actividad piscícola en la finca la laguna del municipio de San Pablo de Borbur Boyacá?

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El pescado es considerado un alimento muy saludable, por su aporte de proteínas y de ácidos grasos omegas, también contiene otros nutrientes que son esenciales como el Calcio, Selenio, Yodo, Vitamina A y D, donde se estima que, gracias a estos aportes nutritivos, el consumo mundial de pescado per cápita ha superado por primera vez los 20 kilogramos anuales, obedeciendo este incremento también a los mayores suministros provenientes de la acuicultura y a su continua demanda, a una mayor cantidad de capturas que superan récords y a la reducción de desperdicios de esta actividad. (FAO, 2016) (Toledo-Pérez & García-Capote, 2000).

Adicional a lo anterior, la acuicultura ha contribuido a que especies que tenían un alto precio, sean accesibles al consumidor promedio y ha ayudado a crear una cultura de consumo de especies acuáticas más variada. Otra ventaja, es que la implementación de sistemas acuícolas ha contribuido a la economía de áreas remotas mediante la creación de empleos locales. La producción de tilapia ha participado con el 49% de la actividad Piscícola Nacional, mientras que la cachama ha constituido el 31 %, el restante de producción está representado por el 16 % de producción de trucha y el 4% por la producción de otras especies como bocachico, carpa, yamu etc. (FAO, 2009)

Además, según cifras del Ministerio de Agricultura, la actividad piscícola se considera una fuente de empleo rural y logra alcanzar para el año 2003 la cantidad de 1.820.324 jornales, que se traducen en 10.343 empleos directos derivados del cultivo de las tres principales especies de peces: tilapia, trucha y cachama. Es por esto, que, en cuanto a factores sociales, el presente proyecto apoyaría a las pequeñas unidades acuícolas productivas generando más empleo ya que pueden involucrar la participación del núcleo familiar, o bien de la inclusión de personal-

externo para todas o cada una de las etapas del proceso productivo. (Salazar, 2011) (FAO, 2010)

En un contexto nacional, el Huila lidera la producción de peces, participando con el 51% de la producción nacional, teniendo en cuenta que se dan economías de escala, de aglomeración y condiciones locales (clima, suelo, recurso hídrico, entre otros); le siguen Meta (23%), Antioquia (8%), Cauca (2%) y por último Boyacá que es uno de los departamentos que menos aporta en la producción piscícola del país a penas con un 2% de participación (Arbeláez, 2011), es por eso que una ventaja de poder aumentar la productividad en el estanque, es que la finca podría aportar en el crecimiento económico del sector al departamento.

Asimismo, la producción de los peces puede ayudar a otras funciones dentro de la finca, ya que según la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos el Departamento de Acuicultura de Uruguay y la FAO el agua del estanque puede ser utilizada para la limpieza de corrales, así como para el riego de las plantas las que a su vez pueden ser utilizadas como alimentos de los animales de la finca. (FAO, 2010)

Para finalizar, con este proyecto se pretende diseñar un sistema tecnificado que aumente la productividad de la piscicultura en la finca “La Laguna”, donde posiblemente se pueda hacer más favorable la calidad del agua del estanque en factores como oxigenación, temperatura y pH, en el cual se podrían aprovechar más los metros cúbicos disponibles, logrando aumentar la productividad del ejercicio de la piscicultura en la finca y contribuyendo a la economía del departamento de Boyacá.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema piscícola tecnificado en la finca “La Laguna” en el municipio de San pablo de Borbur con el fin de aumentar la productividad.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar el sistema implementado actualmente en la finca La Laguna.
- Caracterizar los elementos necesarios para la elaboración de un sistema de Piscicultura Tecnificado.
- Desarrollar el diseño del sistema piscícola en la finca la Laguna ubicada en el municipio San Pablo Borbur Boyacá.

## 1.4 ANTECEDENTES

A nivel internacional, según la (FAO, 2016) en China existen muchas variedades de tecnologías para la acuicultura que se utiliza para diferentes especies de peces y bajo condiciones ambientales variables, los sistemas más utilizados de acuicultura incluyen el cultivo en jaulas, cultivo en estanques, cultivo en corrales, cultivo en arrozales, sistemas bajo techo de aguas corrientes y las pesquerías en aguas abiertas. Para las especies Carpas chinas, tilapia, carpa común, brema china, pescado mandarín, carpa cruciana, bagre, anguila, cangrejo, langostino, madreperla, carpa de fango, donde se manejan tipos de cultivos como policultivo y monocultivo, de baja a alta densidad, y tienen un manejo tecnológico de siembra controlada donde se revisa constantemente las variables de tamaño, calidad y densidad, la alimentación científica, fertilización, prevención de enfermedades y tratamiento.

En México (Ortiz et al., 2013) realizaron un prototipo para el control y automatización en la medición de pH, temperatura, Oxígeno Disuelto (OD) y alimento en el estanque donde por medio de este prototipo se logra optimizar el recurso de materia prima al programar eficientemente los periodos de alimentación y disminuyendo el uso de mano de obra al realizar remotamente las mediciones físico-químicas del agua.

A nivel nacional, en el departamento de Bolívar, (Gutierrez, 2016) realizó una tecnificación de la producción piscícola en una granja en el municipio de San Estanislao de Kostka, implementando sistemas de aireación por paletas, donde logró optimizar las condiciones de oxigenación aumentando así la productividad del estanque al producir más peces por metro cubico y en un menor tiempo

Por otra parte, en el Valle del Cauca, (Arboleda, 2010) realizó un estudio de viabilidad de un proyecto piscícola, que se creó a partir del aumento en la

demanda de alimentos que se está presentando en el mundo, lo que genera una disminución en la pesca de captura sobre explotación. Arboleda llega a la conclusión que la piscicultura representa una alternativa viable a esta problemática ya que mediante los cultivos obtiene una gran fuente de alimentos que no perjudica el medio ambiente y que contribuye a suplir la creciente demanda de alimentos.

También, (García Bernal, Gil Ariza, & Florez Rincón, 2016) realizaron un estudio para explicar las prácticas empresariales de Biocomercio en el cultivo y exportación de tilapia roja como una estrategia para mejorar el sector piscícola en Colombia a partir de un caso de estudio en el departamento del Huila, usando una metodología mediante un proceso cualitativo, con un enfoque descriptivo y exploratorio. Teniendo en cuenta, que esta se basa en una lógica y un proceso inductivo, en el cual después de explorar y describir se generan perspectivas teóricas. Donde se determinó que las cuantiosas pérdidas de los cultivos de tilapia en el departamento del Huila obedecen a unas malas prácticas de producción. En el análisis del biocomercio, se encuentra que nuevas prácticas pueden disminuir considerablemente las pérdidas, ya que estos generarían sostenibilidad ambiental el cual propende la protección y conservación de los recursos naturales.

A nivel departamental, Boyacá no cuenta con actividad piscícola tecnificada, sin embargo, según la gobernación de Boyacá se realizó una inversión de 697 millones de pesos por el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (Incoder), para la ejecución de ocho proyectos de acuicultura, que benefician a 92 familias de Boyacá.

A nivel local, en San Pablo de Borbur no existe un sistema tecnificado, las fincas que cuentan con estanques de peces realizan su actividad de manera artesanal.

## **1.5 ALCANCE**

- El presente proyecto está enfocado en la propuesta de diseño de un sistema que aumente la productividad en la actividad piscícola de la finca la laguna.
- El proyecto acoge únicamente a la finca La Laguna, ubicada en el municipio de San Pablo de Borbur en Boyacá.
- El resultado final será la elaboración de los planos del diseño que aumente la productividad en la actividad piscícola de la finca.

## **1.6 LIMITACIONES**

- La distancia de la finca aumenta los costos y tiempos al momento de ir a recolectar la información necesaria para el desarrollo del proyecto.
- La disponibilidad de herramientas para la medición de variables fisicoquímicas del agua del estanque.
- La falta de información con respecto a sistemas piscícolas en la zona, no permiten dar un contexto local del problema.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO CONCEPTUAL**

#### **2.1 DEFINICIÓN DE ACUICULTURA**

La AUNAP (Autoridad Nacional De Acuicultura Y Pesca) 2018, define la acuicultura como “Una de las mejores técnicas ideadas por el hombre para incrementar la disponibilidad de alimento y se presenta como una nueva alternativa para la administración de los recursos acuáticos”. A continuación, se realiza la contextualización de la piscicultura que según la (AUNAP, 2018) es el campo más desarrollado en la acuicultura.





#### **2.2 ¿QUÉ ES PISCICULTURA?**

Para poder comprender conceptualmente que significa Piscicultura, se ha extraído la definición de (Arboleda, 2010) quien dice que: “La piscicultura es la actividad que involucra la cría y levante de peces cautivos en medios naturales o artificiales, controlados con técnicas que permiten su cultivo y aprovechamiento racional.”, los medios naturales o artificiales a los que se refiere el autor se componen en unos tipos de estanques los cuales, dependiendo de la intervención humana, se dividen en 3 ítems:

- 1) PISCICULTURA INTENSIVA
- 2) PISCICULTURA SEMI-INTENSIVA
- 3) PISCICULTURA SÚPER-INTENSIVA
- 4) PISCICULTURA EXTENSIVA

Independientemente del tipo de piscicultura que se vaya a usar en cada uno de los sistemas, existe también una variable como lo son los tipos de cultivos que pueden ser por su variedad de especies que se siembran; para los cultivos donde solo se siembra un tipo de especie se le considera Monocultivos y para donde se siembran varios tipos de especies se le denomina Policultivos

A continuación, relacionamos un cuadro comparativo de los tipos de piscicultura para profundizar en cada uno de ellos.

	<b>Piscicultura Extensiva</b>	<b>Piscicultura Semi-intensiva</b>	<b>Piscicultura Intensiva</b>	<b>Piscicultura Súper-intensiva</b>
<b>Imagen</b>	 <p>Extraído de:  <a href="http://pecesmaracay.blogspot.com/2017/04/clasificacion-de-la-piscicultura.html">http://pecesmaracay.blogspot.com/2017/04/clasificacion-de-la-piscicultura.html</a></p>	 <p>Extraído de:  <a href="http://pecesmaracay.blogspot.com/2017/04/clasificacion-de-la-piscicultura.html">http://pecesmaracay.blogspot.com/2017/04/clasificacion-de-la-piscicultura.html</a></p>	 <p>Extraído de:  <a href="http://pecesmaracay.blogspot.com/2017/04/clasificacion-de-la-piscicultura.html">http://pecesmaracay.blogspot.com/2017/04/clasificacion-de-la-piscicultura.html</a></p>	 <p>Extraído de:  <a href="http://pecesmaracay.blogspot.com/2017/04/clasificacion-de-la-piscicultura.html">http://pecesmaracay.blogspot.com/2017/04/clasificacion-de-la-piscicultura.html</a></p>
<b>¿Qué es?</b>	<p>“Este tipo de cultivo se basa en alcanzar una producción donde el manejo del medio acuático y de los peces sea mínimo.” (Dirección Nacional de Recursos Acuáticos - Departamento de Acuicultura de Uruguay, 2010).</p>	<p>“Se trata de incrementar la productividad del estanque optimizando la calidad del agua a partir de la utilización de fertilizantes orgánicos o inorgánicos, y aportando alimento balanceado a los peces.” (Dirección Nacional de Recursos Acuáticos - Departamento de Acuicultura de Uruguay, 2010).</p>	<p>Logra la producción con un control completo, normalmente es para fines comerciales y para esto se requiere de estanques que sean tecnificados con entrada y salida de agua. (FAO, 2010)</p>	<p>“Este sistema es usado principalmente en jaulas flotantes, en lagos o embalses, pues necesitan un recambio alto de agua (500%) por minuto, deben tener uso exclusivo de alimento concentrado. “Solla,2013)</p>

<b>Productividad</b>	Aprox. 300 gr/m <sup>3</sup>	Entre 1,0 a 2,0 kg/m <sup>3</sup>	Entre 4 a 6 kg/m <sup>3</sup>	Entre 60 a 150 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad</b>	Baja 0.5 peces/m <sup>3</sup>	De 2 a 4 peces/m <sup>3</sup>	De 6 - 10 peces/m <sup>3</sup>	80 - 200 peces/m <sup>3</sup>
<b>Alimento</b>	Exclusivo natural	Natural y artificial	Artificial	Ración balanceada altamente digestiva
<b>Aireación</b>	No requiere	Requiere, pero en ciertas horas del día y de la noche	Uso continuo 24 horas	Dependiendo de las condiciones de agua
<b>Estanques</b>	Grandes extensiones	Medio de 0,5 a 2 hectáreas	Pequeños a medios (de 1500 a 3000m <sup>2</sup> )	Jaulas

**Tabla 1** Comparación de los tipos de Piscicultura

### 2.2.1 ESTANQUES Y CRECIMIENTO

Un estanque es un depósito cerrado de agua, sin corrientes, con un tamaño que puede ser utilizado para el cultivo controlado de peces, aunque está limitado por la topografía del terreno, la disponibilidad de insumos y los costos de construcción. (FAO, 2010)

Para la acuicultura, existen varios ciclos en la cría de los peces, estos se dividen en una serie de periodos de crecimiento que se mencionan a continuación:

### **2.2.1.1 PERIODO OVAL**

Técnicamente como todo ser ovíparo este comienza con el nacimiento mediante huevos los cuales pueden llegar a variar entre sus tonos, formas e incluso capacidades. Esto sucede entre las diversas especies de peces que existen. Usualmente en su desarrollo el pez hembra coloca los huevos y después viene el pez macho y coloca el líquido seminal sobre estos, de este modo comienzan los períodos de desarrollo hasta que se completa dicho proceso y se convierte en una larva. (Vásquez, L. 2017)

### **2.2.1.2 PERIODO LARVAL**

Esta etapa da su primer paso cuando el huevo comienza a agrietarse, sin embargo, en esta fase la larva aún posee un saco vitelino y allí tiene los nutrientes que necesita para sobrevivir. (Vásquez, L. 2017)

### **2.2.1.3 PERIODO DE ALEVINAJE**

Esta larva se conoce como alevino o dedino es la que ya no se alimenta del saco vitelino, sino que lo hace del medio donde habita. Se considera la etapa de comercialización de los peces ya que pueden ser alimentados por medios artificiales. Los peces pueden ser de diferentes tamaños y formas según la especie; aunque lo importante en este caso es que tienen la forma de un pez adulto. (Vásquez, L. 2017)

### **2.2.1.4 PERIODO JUVENIL**

Es una fase de transición hacia la adultez, aquí ya ha culminado totalmente el proceso de la formación corporal. En algunas especies como la Tilapia en ese tiempo inicia un proceso de madurez sexual por lo que pueden empezar a reproducirse. (Vásquez, L. 2017)

### **2.2.1.5 PERIODO ADULTO**

En esta etapa finaliza el ciclo de vida de los peces, es considerada la fase activa de la reproducción, depende también de la especie; algunas inician de 1 a 2 años y esto puede afectar la productividad dependiendo de su alta o baja población después de esta etapa reproductiva. (Vásquez, L. 2017)

## **2.3 PRODUCTIVIDAD**

Como definición de productividad se puede decir que, “Es la mejora del proceso productivo que significa una comparación favorable entre la cantidad de recursos utilizados y la cantidad de bienes y servicios producidos. Lo que se traduce en un indicador que relaciona lo producido por un sistema (salidas) y los recursos utilizados para generarlos (entradas).” (Carro Paz & González Gómez, 2015)

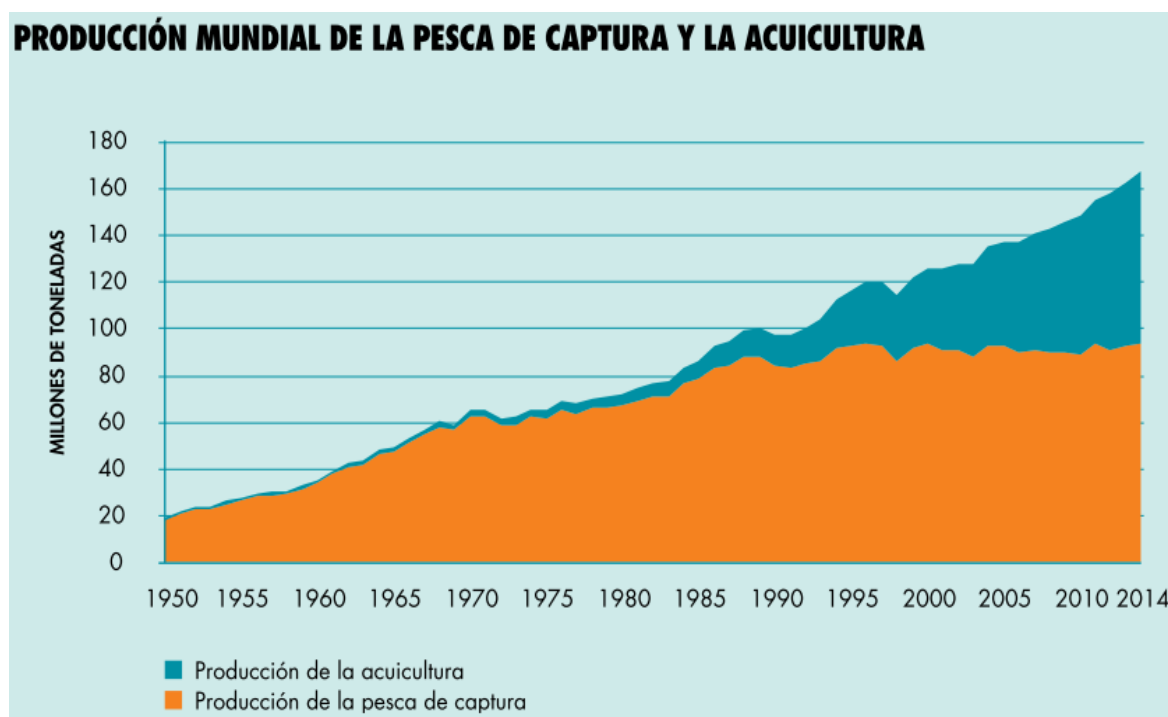
### **2.3.1 PRODUCTIVIDAD EN ACUICULTURA**

En la actividad agropecuaria, el término producción se refiere a la cantidad de grados de biomasa vegetal o animal producidos por unidad de área (kg o ton/ha, kg/m<sup>2</sup>, etc.; en cambio, cuando se habla de productividad, se suma el factor tiempo para la producción, o sea, que la unidad pasa a expresarse en kg/ha/día, kg/m<sup>2</sup>/mes, kg/m<sup>2</sup>/año. Por ejemplo, a un grupo de productores le llevó hasta 2 años producir un pez de 3 kg a partir de juveniles de 200 a 300 g. Asimismo, otro grupo de productores obtuvo 7.000 kg/ha, pero sus peces, alcanzaron los 3 kg en 10 meses. O sea, la producción de estos últimos fue del doble que la del primer grupo, pero si se considera el factor tiempo, la productividad fue mayor para aquellos productores que sembraron menos, pero que hicieron crecer a sus peces más rápido (8.400 kg/ha/año vs 7.000 kg/ha/año). (Kubitza, 2016)

### 3. MARCO TEÓRICO

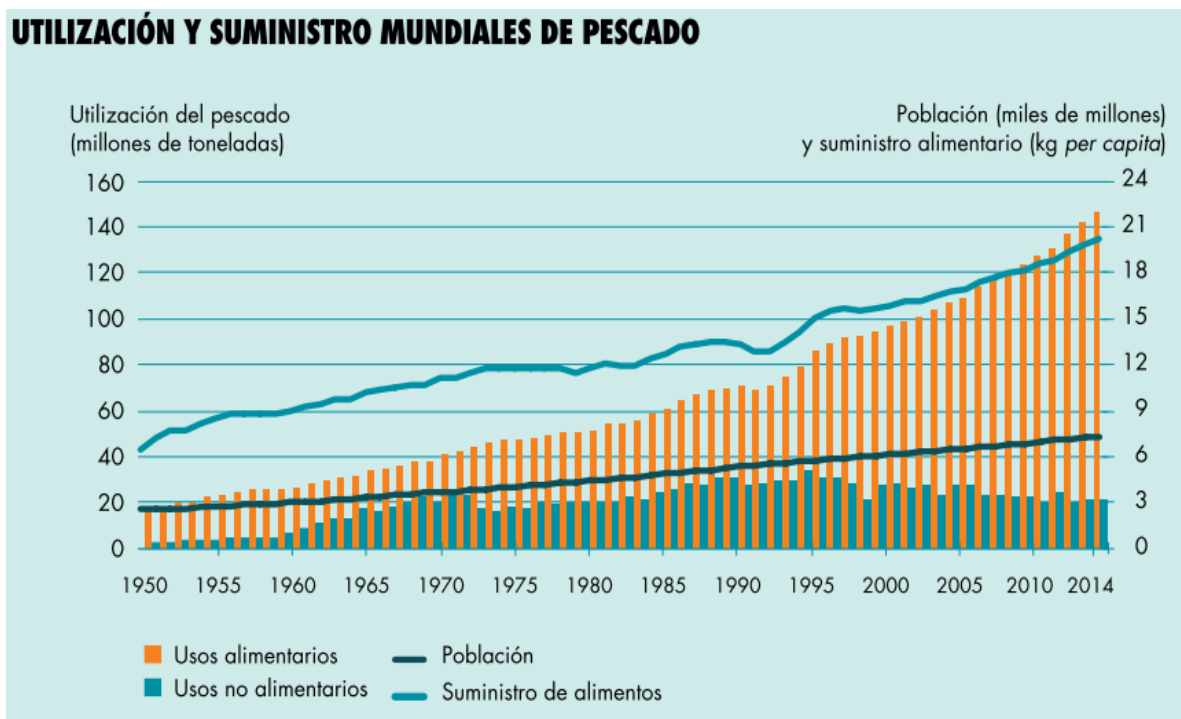
#### 3.1 IMPORTANCIA DE LA PISCICULTURA PARA LA ECONOMÍA

Frente a uno de los mayores hitos mundiales como lo es alimentar aproximadamente 9000 millones de personas para el año 2050, debido a la situación actual y proyectada frente al cambio climático, el aumento de la competencia por los recursos naturales y la incertidumbre económica y financiera, se adquirió por parte de la comunidad internacional, unos compromisos en septiembre de 2015 donde se aprobaron a manos de los miembros de las naciones unidas, la agenda 2030 para el desarrollo sostenible donde también fijaron objetivos relacionados a la contribución y la práctica de la pesca y la acuicultura en pro de la seguridad alimentaria y nutrición respecto a la utilización de los recursos naturales, garantizando así un desarrollo sostenible en términos económicos, ambientales y sociales. (FAO, 2016)



**Ilustración 1** Producción Mundial de la pesca de captura y acuicultura Fuente: FAO. (2016). Contribución a La Seguridad Alimentaria Y La Nutrición Para Todos. FAO. <https://doi.org/978-92-5-306675-9>

El incremento de la oferta mundial de peces para el consumo humano ha sobrepasado al crecimiento de la población en las últimas décadas, incrementando a un promedio del 3,2% en el periodo 1961-2013, el doble del crecimiento demográfico, lo que da como lugar a un aumento en la disponibilidad per cápita (ver ilustración 2). El aparente consumo de pescado per cápita a nivel global registró un incremento medio de 9,9 kg en la década de 1960 a 19,7 kg en 2013. A parte del aumento de la producción, otros factores que han contribuido a incrementar el consumo son como, por ejemplo, la mejora de utilización, la disminución del despilfarro, crecimiento de canales de distribución, y la demanda cada vez en aumento, asociada al crecimiento de la población, También, el comercio internacional ha logrado cumplir una función importante al ofrecer mejores alternativas a los consumidores. (FAO, 2016)



**Ilustración 2** Utilización y Suministro mundiales de pescado Fuente: FAO. (2016). Contribución a La Seguridad Alimentaria Y La Nutrición Para Todos. FAO. <https://doi.org/978-92-5-306675-9>

Para 2013, en los países industrializados el consumo per cápita de pescado fue de 26,8 kg. Una parte considerable y cada vez más en crecimiento del pescado que se consume en los países desarrollados se abastece de las importaciones, debido a la solidez de la demanda y la disminución de la producción pesquera nacional. En los países en vía de desarrollo, el consumo de pescado suele sustentarse en los productos que hay a nivel local, el consumo está más ligado por la oferta que por la demanda, no obstante, a causa del incremento de los ingresos nacionales, los consumidores estos países en vía de desarrollo están presentando una diversificación de los tipos de peces ofertados a través de un crecimiento de las importaciones pesqueras. (FAO, 2016)

Este incremento considerable del consumo de pescado ha sido favorable a las dietas de las personas en todo el mundo debido a la diversificación de alimentos nutritivos. Para el 2013, el pescado representó aproximadamente el 17% de la ingestión de proteínas animales de la población a nivel mundial, y el 6,7% de proteínas consumidas en total. (FAO, 2016)

### **3.2 CONTRIBUCIÓN A LA NUTRICIÓN**

El pescado contribuyó a más de 3.100 millones de personas lo que representa casi el 20% del consumo promedio de proteínas de origen animal per cápita, Además de ser una fuente alta en proteínas de buena calidad y fácil digestión que contiene todos los aminoácidos indispensables, el pescado contribuye grasas esenciales como por ejemplo ácidos grasos omega 3 de cadena larga, vitaminas D, A y B, y minerales, más si se consume entero, la ingestión de pequeñas cantidades también puede tener un considerable repercusión nutricional positiva en dietas basadas en vegetales; este es el caso para muchos países de bajos ingresos y con déficit de alimentos (PBIDA) y países poco desarrollados.

El pescado es rico también en grasas insaturadas que aportan beneficios para la salud, frente a la protección de enfermedades cardiacas. Incluso contribuye al

desarrollo del cerebro y el sistema nervioso en niños, gracias a sus propiedades nutricionales también puede resultar decisivo para corregir las dietas desequilibradas que puedan ayudar a contrarrestar la obesidad. (FAO, 2016)

### **3.3 PRODUCCIÓN MUNDIAL**

La producción total mundial de la pesca de captura para el 2014 fue de 93,4 millones de toneladas, de las cuales 81,5 millones de toneladas son procedentes de aguas marinas y 11,9 millones de toneladas provienen de aguas continentales, para el caso de la producción pesquera marina, china lidera la producción pesquera marina, seguida de indonesia, la Federación Rusa y los EUA. En Perú, las capturas de anchoveta cayeron a 2,3 millones de toneladas en 2014, y para el 2016 ya se habían recuperado hasta superar los 3,6 millones de toneladas. (FAO, 2016)

Las exportaciones de los países en vía de desarrollo representaban el 37% del comercio mundial en 1976, y para el 2014 aumentaron su porcentaje al 54% del valor total de las exportaciones pesqueras y el 60% de cantidad en peso vivo. Para el comercio pesquero se considera una fuente significativa de divisas para muchos países en vía de desarrollo, aparte de ser un papel importante en la creación de empleos, ingresos, seguridad alimentaria y la nutrición. Según la (FAO, 2016), para el 2014, los países en vía de desarrollo tuvieron unas exportaciones pesqueras que totalizaron 80.000 millones de dólares y cuyos ingresos netos (que son las exportaciones menos las importaciones), ascendieron a los 42.000 millones de dólares, lo que traduce en una cifra superior a la de los países agrícolas. (FAO, 2016)

PAÍS O TERRITORIO	PROMEDIO 2003-2012	2013	2014	VARIACIÓN		
				PROMEDIO (2003-2012) - 2014	2013- 2014	2013-2014
		(Toneladas)		(Porcentaje)		(Toneladas)
China	12.759.922	13.967.764	14.811.390	16.1	6.0	843.626
Indonesia	4.745.727	5.624.594	6.016.525	26.8	7.0	391.931
Estados Unidos de América	4.734.500	5.115.493	4.954.467	4.6	-3.1	-161.026
Federación de Rusia	3.376.162	4.086.332	4.000.702	18.5	-2.1	-85.630
Japón	4.146.622	3.621.899	3.630.364	-12.5	0.2	8.465
Perú	7.063.261	5.827.046	3.548.689	-49.8	-39.1	-2.278.357
	918.049 <sup>1</sup>	956.416 <sup>1</sup>	1.226.560 <sup>1</sup>	33.6	28.2	270.144
India	3.085.311	3.418.821	3.418.821 <sup>2</sup>	10.8	0.0	0
Viet Nam	1.994.927	2.607.000	2.711.100	35.9	4.0	104.100
Myanmar	1.643.642	2.483.870	2.702.240	64.4	8.8	218.370
Noruega	2.417.348	2.079.004	2.301.288	-4.8	10.7	222.284
Filipinas	2.224.720	2.130.747	2.137.350	-3.9	0.3	6.603
República de Corea	1.736.680	1.586.059	1.718.626	-1.0	8.4	132.567
Tailandia	2.048.753	1.614.536	1.559.746	-23.9	-3.4	-54.790
Malasia	1.354.965	1.482.899	1.458.126	7.6	-1.7	-24.773
México	1.352.353	1.500.182	1.396.205	3.2	-6.9	-103.977
Marruecos	998.584	1.238.277	1.350.147	35.2	9.0	111.870
España	904.459	981.451	1.103.537	22.0	12.4	122.086
Islandia	1.409.270	1.366.486	1.076.558	-23.6	-21.2	-289.928
Provincia china de Taiwán	972.400	925.171	1.068.244	9.9	15.5	143.073
Canadá	969.195	823.640	835.196	-13.8	1.4	11.556
Argentina	891.916	858.422	815.355	-8.6	-5.0	-43.067
Reino Unido	622.146	630.047	754.992	21.4	19.8	124.945
Dinamarca	806.787	668.339	745.019	-7.7	11.5	76.680
Ecuador	452.003	514.415	663.439	46.8	29.0	149.026
<b>Total 25 países principales</b>	<b>66.328.843</b>	<b>66.923.439</b>	<b>66.953.612</b>	<b>0.9</b>	<b>0.0</b>	<b>30.173</b>
<b>TOTAL MUNDIAL</b>	<b>80.793.507</b>	<b>80.963.120</b>	<b>81.549.353</b>	<b>0.9</b>	<b>0.7</b>	<b>586.233</b>

**Ilustración 3** Producción de la Pesca de Captura Marina: Principales países productores, Fuente: FAO. (2016). Contribución a La Seguridad Alimentaria Y La Nutrición Para Todos. FAO. <https://doi.org/978-92-5-306675-9>

Para el 2014, 13 de los 25 países pesqueros más importantes aumentaron sus capturas en más de 100.000 toneladas, comparadas con el año 2013 (ilustración 3). Los países que tuvieron un mayor aumento fueron Indonesia, China y Myanmar en Asia, Noruega en Europa, y Chile y Perú en América del Sur.

### **3.4 FORMAS DE PRODUCCIÓN EN COLOMBIA**

El cultivo de la tilapia roja (*O. niloticus*) se realiza según (Claudia Merino, Patricia Bonilla, & Bages, 2013) se hace mayoritariamente mediante cultivos en estanques, consiguiendo de esta manera para el año 2013 una producción de 22.273 toneladas siendo esta la mayor producción de esta especie a nivel nacional.

#### **3.4.1 ¿QUÉ ES LA TILAPIA?**

La tilapia, según (Nicovita, 2015), “Es con su nombre técnico un pez teleósteo, del orden Perciforme perteneciente a la familia *Cichlidae* Originario de África, habita la mayor parte de las regiones tropicales del mundo, donde las condiciones son favorables para su reproducción y crecimiento. También, es un pez que tiene un muy buen sabor y su crecimiento es rápido, se puede cultivar ya sea en estanques o en jaulas, una característica importante es que resiste condiciones ambientales difíciles y tolera bajas concentraciones de oxígeno, es capaz de utilizar la productividad primaria de los estanques y se puede manipular genéticamente.”



**Ilustración 4** Tilapia, Fuente : <https://jenniesfoods.co.uk/product/red-tilapia-fish/>

### 3.4.2 ALIMENTO DE LA TILAPIA

Es un pez omnívoro cuya alimentación depende de todo lo que se encuentra en el agua y lo pueda utilizar como alimento, por ejemplo: Insectos, Frutas, algas y otra variedad de alimentos naturales, y tiene la facilidad de adaptarse al concentrado. (Ríos, R.,2012)

Hay que tener en cuenta que en la etapa de alevinaje se requiere mayor concentración de proteína, pero la cantidad de alimento es poca debido a su peso. Cuando el pez pasa a una etapa de engorde, la proteína baja su concentración en el alimento, pero su ración diaria aumenta dependiendo del peso que tenga y se prolonga hasta la talla deseada o comercial (350g <).

En la siguiente tabla se explica más claramente la información:

Etapa de Siembra	Peso	Porcentaje de Proteína (%)
<b>Alevino</b>	1 – 30	45 – 40
<b>Juvenil</b>	30 – 80	38 – 36
<b>Engorde</b>	80 – 150	32 – 28
	150 – 350	26 – 24

**Tabla 2** Comparación de tamaños de peces, Fuente: (Bernal Gil F., 2017)

### **3.4.3 REPRODUCCIÓN**

Debido a que esta especie suele reproducirse a los 3 meses de edad, es necesario controlar y planificar de forma correcta su apareamiento, apartando los machos de las hembras, y debido a que los machos crecen más rápido y mejor, estos se deben aprovechar para el engorde. (Ríos, R.,2012)

### **3.4.4 CRECIMIENTO**

Normalmente cuando tienen alevines con un peso corporal de 1 gramo, en un cultivo con condiciones aceptables, se consigue pesos entre 450 a 600 gramos en siete meses de cultivo. (Ríos, R.,2012)

## **3.5 REQUERIMIENTOS DE PRODUCCIÓN ACUÍCOLA**

Para la producción acuícola, es fundamental desarrollar aspectos importantes entre los que están: la selección de la semilla, controlar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua, realizar buenas prácticas en manejo, transporte, profilaxis, alimentación, cosecha y pos procesado de cada cultivo, también es necesario tener en cuenta la conceptualización, diseño, construcción, mantenimiento y administración de los procesos. (Rodríguez, 2019)

La diferencia entre los sistemas de producción acuícola y los acuáticos naturales, es el grado de modificación y control que se tiene de las condiciones por las cuales funciona el proceso productivo. Los sistemas acuáticos naturales presentan un comportamiento de los componentes normalmente balanceado pero una baja productividad, pues su rendimiento es relativamente lento con respecto a las necesidades y expectativas del ser humano para poder satisfacer necesidades alimenticias y/o económicas. (Rodriguez, 2010)

### 3.5.1 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Existen parámetros físicoquímicos que afectan el proceso productivo de los cultivos, a continuación, se hará la respectiva descripción de cada uno de ellos:

#### 3.5.1.1 OXIGENACIÓN

Es un factor o requerimiento muy importante para cultivos de especies hidrobiológicas. El rango óptimo de oxígeno está por encima de las 4ppm medido en la salida del estanque

En la siguiente tabla se relaciona un cuadro que relación la cantidad de oxígeno y sus efectos

Oxígeno (ppm)	Efectos
0.0 - 0.3	Los peces pequeños sobreviven en cortos periodos.
0.3 - 2.0	Letal en exposiciones prolongadas.
3.0 - 4.0	Los peces sobreviven, pero crecen lentamente.
> 4.5	Rango deseable para crecimiento del pez.

**Tabla 3** Relación de cantidad de oxígeno y efectos, Fuente: (Rodriguez, 2010)

Dependiendo de la especie, cada una tiene tolerancias diferentes a bajos niveles de oxígeno. Como, por ejemplo: mediante el sistema de boqueo, las tilapias pueden extraer OD (Oxígeno Disuelto) de la interface Agua/Aire que en algunos casos puede estar por debajo de 1mg/l.

Esto las convierte en una especie que es capaz de sobrevivir a estos niveles bajos de oxígeno disuelto, pero, no obstante, el efecto de estrés al cual se expone el animal es causa de infecciones patológicas.

Según (Rodriguez, 2010), Existen unos factores que disminuyen el nivel de oxígeno disuelto como lo son:

- Descomposición de la materia orgánica.
- Alimento no consumido.
- Heces.
- Animales muertos.
- Aumento de la tasa metabólica por el incremento en la temperatura (variación de la temperatura del día con respecto a la noche).
- Respiración del plancton (organismos microscópicos vegetales y animales que conforman la productividad primaria).
- Desgasificación: salida del oxígeno del agua hacia la atmósfera.
- Nubosidad: en días opacos o nublados las algas no producen el suficiente oxígeno.
- Aumento de sólidos en suspensión: residuos de sedimentos en el agua, heces, etc.
- Densidad de siembra.

Las consecuencias que puede traer las bajas prolongadas de oxígeno son:

- Disminuye la tasa de crecimiento del animal.
- Aumentar la conversión alimenticia (relación alimento consumido / aumento de peso).
- Se produce inapetencia y letargia.
- Causa enfermedad a nivel de branquias.
- Produce inmunosupresión y susceptibilidad a enfermedades.
- Disminuye la capacidad reproductiva.”

### 3.5.1.2 TEMPERATURA

Todos los organismos acuáticos tienen un rango ideal de temperatura y empiezan a tener problemas cuando están por encima o por debajo, y puede llegar a ser letal ya que afecta directamente el metabolismo del pez, por ejemplo, si la temperatura aumenta la tasa metabólica también, por ende, aumenta el consumo de oxígeno. Muchas especies con solo una variación de 2 grados centígrados ya le pueden generar tensión y muerte.

Según la Temperatura del agua los peces se clasifican en 3 grandes grupos:

<b>Peces</b>	<b>Altura</b>	<b>Temperatura</b>
Aguas Frías	2.000 a 3.000	8 a 18 °C
Aguas Templadas	1.200 a 2.000	18 a 22 °C
Aguas Cálidas	0 a 1.200	22 a 30°C

**Tabla 4** Clasificación de aguas, Fuente: (Rodríguez, 2010)

Existe un problema significativo, y es que a temperaturas que no están acordes al rango, los peces no se alimentan, el sistema inmune se debilita, los animales se vuelven susceptibles a enfermedades, también a muerte por manipulación y se disminuye la reproducción. (Rodríguez, 2010)

### 3.5.1.3 pH

Según (Rodríguez, 2010), Gran parte de los animales acuáticos sobreviven sin inconvenientes en aguas con un pH neutro (7) o ligeramente alcalinas, para los peces el rango ideal se encuentra entre 6.5 y 9.0, debido a que permiten la secreción normal de mucus en la piel, combinado con una dureza alta. Para las aguas con una alta alcalinidad y baja dureza, los valores de pH en las tardes pueden sobrepasar niveles de pH máximos tolerados por los peces.

Para la tilapia, según (Rodríguez, 2010), el pH debe ser neutro o muy cercano, con una dureza normalmente alta para proporcionar una buena condición de mucus en

la piel. Si llegase a variar el pH de los rangos normales (6.5 a 9.0), pueden causar cambios en el comportamiento de los peces tales como inapetencia, letargia, disminuyen la reproducción y también el crecimiento.

#### **3.5.1.4 TURBIDEZ O TRANSPARENCIA**

La turbidez del agua es dependiente del tamaño y la cantidad de partículas suspendidas en el agua. La calidad del agua se puede determinar mediante su color y turbidez ya que sirven como indicadores y pueden también determinar mediante su observación la escasez de oxígeno y disponibilidad de nutrientes. Cuando las partículas en suspensión impiden el paso de la luz, existe una disminución de la fotosíntesis y por tanto una disminución de oxígeno. Se considera que la visibilidad ideal en los sistemas piscícolas no deberá ser mayor a 45 cm ni inferior a 20 cm. En el ambiente acuícola y piscícola se acepta la turbidez producida por el plancton, siempre y cuando no afecte los demás parámetros de la calidad de agua y por extensión los organismos acuáticos. (Rodríguez, 2010)

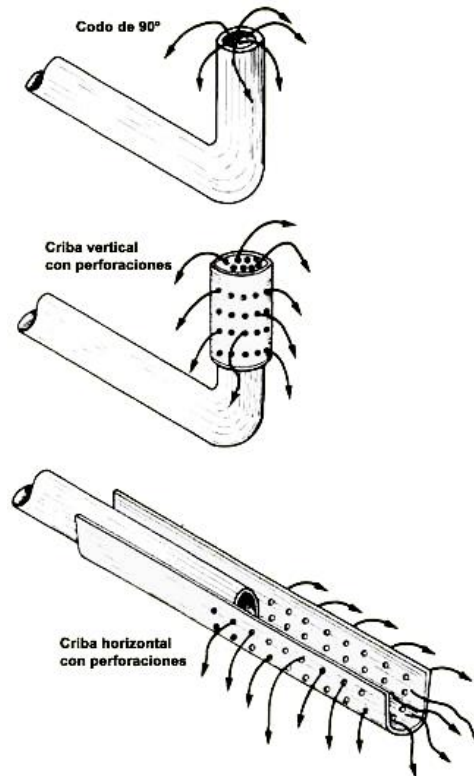
### **3.6 CÓMO MEJORAR LA OXIGENACIÓN EN LA ENTRADA DE AGUA**

Según la (FAO, 2016), Es relativamente fácil mejorar la oxigenación del agua en el momento en que entra en el estanque. Existen varios métodos simples para lograrlo, que se describen más adelante. Se puede seleccionar el sistema que mejor se adapta a cada necesidad. La mezcla de oxígeno atmosférico con el agua mejora a medida que:

- Aumenta la altura desde la cual cae el agua;
- Aumenta el ancho del caudal y el área de contacto con el aire;
- Aumenta la salpicadura y la pulverización del agua en finas gotas.

2. Si el agua que alimenta el estanque llega a través de una tubería, se puede mejorar la oxigenación:

Agregando un codo de 90° al final de la tubería y dirigiendo la salida hacia arriba; colocando un filtro vertical perforado al final de la tubería para aumentar el contacto con el aire; fijando una criba horizontal con perforaciones, que se curve alrededor del final de la tubería y lo sobrepase ligeramente.



**Ilustración 5** Forma recomendada de caída de agua, Fuente: (FAO, 2016)

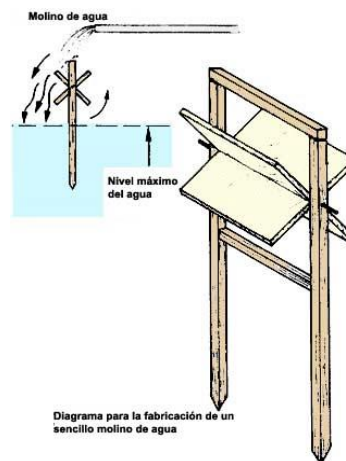
3. Si el agua que alimenta el estanque cae verticalmente, a través de cualquier dispositivo que sobresale, tal como una tubería o una estructura de madera, se puede mejorar la oxigenación con:

Un salpicadero horizontal fijado sobre un soporte de madera, por encima del nivel máximo de agua; un salpicadero horizontal perforado, hecho de metal perforado o una red metálica fina, colocada por encima del agua; un salpicadero inclinado, sobre la cual se han fijado listones transversales;

una pieza inclinada de metal corrugado o una lámina de asbesto, preferiblemente perforada con numerosos huecos de 8 mm; una pequeña columna de aireación, hecha con un trozo de tubo o malla, en cuya parte interna se fijan trozos de plástico o de malla; un molino de agua que rueda, hecho de madera; un molino de agua, también hecho de madera, pero suspendido en la toma de agua.



**Ilustración 6** Método de entrada de agua recomendado Fuente: (FAO, 2016)



**Ilustración 7** Molino de agua recomendado Fuente: (FAO, 2016)

4. Si el suministro de agua llega al estanque a través de una superficie inclinada en el extremo del canal de alimentación, las posibilidades de mejorar la oxigenación son más limitadas. La mejora más eficiente consiste en colocar una plancha de metal corrugado o una lámina de asbesto por encima de la parte superior del dique. Para mantener la eficiencia de estos dispositivos, es necesario limpiar periódicamente las mallas o las partes perforadas, para impedir el crecimiento de algas u otros depósitos.

### **3.7 SISTEMAS TECNIFICADOS**

#### **3.7.1 SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN ACUÍCOLA (RAS)**

Representan una manera especial, ecológica e innovadora para el cultivo de peces. Tiene una gran diferencia respecto al método tradicional de cultivo de peces en estanques abiertos o al aire libre, las jaulas de red o tanques, y es que permiten la cría de peces en altas cantidades, dentro de un ambiente de crianza controlado por el operador de la instalación. Los filtros tienen la función de limpiar el agua y la reciclan, enviándola nuevamente al tanque. En este caso solo es necesario añadir agua nueva a los tanques para compensar pérdida de agua generadas por salpicaduras, la evaporación y para reemplazar la que se utiliza para eliminar materiales de desecho. Los diseños de recirculación están compuestos de varias tecnologías de proceso que trabajan juntas para garantizar una mínima pérdida de agua, calor y de población de peces. Además, limpian y reciclan el agua de los tanques en todo momento (International Aquafeed, 2014).

#### **3.7.2 SISTEMA DE AIREACIÓN**

Según (Velasco. A, 2013) la aireación de agua es transferir oxígeno del aire al agua. En la superficie del agua se necesita oxígeno para terminar su ciclo biológico. En grandes superficies esto ocurre de forma natural debido a la acción de las olas.

En lagos y estanques más pequeños se puede obtener fácilmente un desequilibrio en factores biológicos, esto causa una baja en niveles de oxígeno y hace fundamental la aireación mecánica. Una aireación de agua insuficiente, junto con bajos niveles de oxígeno, puede desencadenar la mortalidad de peces, olores desagradables y el enturbiado de las aguas. (Velasco. A, 2013)

### **3.7.3 TECNOLOGÍA BIOFLOC (BTF)**

El Biofloc es el conjunto de bioflóculos formados por bacterias protozoos, fitoplancton y zooplancton (BIOAQUAFLOC., 2018). La tecnología Biofloc funciona como una alternativa que llama la atención de los piscicultores ya que es un sistema de producción súper-intensiva, la que se basa en aprovechar la acumulación de residuos de los alimentos, materia orgánica y compuestos inorgánicos tóxicos mediante microorganismos presentes en los medios acuáticos, dando condición de dominio a comunidades autótrofas y heterótrofas, resolviendo sustancialmente los problemas de saturación de nutrientes a partir de su reciclaje.(Collazos-Lasso & Arias-Castellanos, 2015)

## **4. MARCO LEGAL**

A continuación, relacionamos la legislación y regulaciones que rigen la actividad piscícola del país.

### **4.1 “Ley 13/90 y el decreto 2256/91”**

“Se trata el tema de los permisos de cultivo (producción, procesamiento y comercialización) o licencias de funcionamiento que expide la autoridad competente para su ejercicio, el INCODER, a través de la Subgerencia de Pesca y Acuicultura, por medio de la oficina de registro y control.”

### **4.2 “Decreto 155 del 2004”**

“Reglamenta el artículo 42 de la ley 99 de 1993 sobre las tasas por la utilización de aguas superficiales. “

### **4.3 “Decreto 3930 de 2010”**

“Uso del agua y recursos líquidos: dispone sobre usos del agua y residuos líquidos, así como los permisos de vertimientos. “

### **4.4 “Decreto 2667 de 2012”**

“Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras disposiciones.”

### **4.5 “Resolución 0631 del 2015”**

“Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado y se dictan otras disposiciones. “

#### **4.6 “Resolución 1142 del 2015”**

“Por medio de la cual fija el factor regional para la liquidación y facturación de la tasa retributiva para los usuarios que, generan vertimientos al recurso hídrico en toda la jurisdicción de Corpoboyacá para el periodo comprendido entre el 1 de julio de 2014 hasta el 30 de junio del 2015, en cumplimiento del decreto 2667”

#### **4.7 “Resolución 3518 del 2015”**

“Por medio del cual se adopta el procedimiento para el establecimiento de la meta global de carga contaminante y se inicia el correspondiente proceso de consulta, para la corriente principal de la cuenca alta, y media del río Chicamocha de la jurisdicción de Corpoboyacá, y se adoptan otras disposiciones.”

(León Moreno & Andrade Moreno, 2016)

#### **4.8 “Corporaciones Autónomas Regionales (CAR)”**

“Proporciona el permiso de concesión de aguas y la presentación de planes de manejo ambiental.” (FAO, 2012)

#### **4.9 “Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos – INVIMA”**

“Es la entidad dependiente del Ministerio de Salud a quien corresponde velar por la inocuidad de los productos alimenticios en general.” (FAO, 2012)

## **5. MÉTODO PARA EL DESARROLLO DEL DISEÑO**

### **5.1 MÉTODO DIETER**

El método que propone George Dieter, consiste de una serie de fases para su desarrollo, las cuales consisten de:

“Fase 1. Reconocer la necesidad

Fase 2. Definir la problemática

Fase 3. Compilación de información

Fase 4. Conceptualización

Fase 5. Evaluación

Fase 6. Declaración del diseño.”

#### **5.1.1 FASE 1. RECONOCER LA NECESIDAD**

Normalmente, la necesidad es buscar una insatisfacción que se encuentra respecto a una situación actual. Por ejemplo, en una empresa las necesidades se pueden encontrar en diferentes áreas como pueden ser en la producción, en los clientes o en los distribuidores.

#### **5.1.2 FASE 2. DEFINIR LA PROBLEMÁTICA**

La parte más complicada del diseño es el problema y su definición, por lo que debe estar bien especificado, sin llegar a soluciones impertinentes, lo que permite dar más claridad para proceder a la ejecución de la siguiente fase.

#### **5.1.3 FASE 3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

Es uno de los aspectos más importantes de todas las fases, en donde se encuentra la información más oportuna por medio de artículos, documentos del gobierno, registros de patentes, informes de analistas, entrevistas etc.

#### **5.1.4 FASE 4. CONCEPTUALIZACIÓN**

En esta parte se determinan los componentes o elementos que al unirse dan como resultado un diseño que satisface la necesidad, se recomienda el uso de la creatividad y la imaginación para así poder llegar rápidamente una solución pertinente para la problemática.

#### **5.1.5 FASE 5. EVALUACIÓN**

La evaluación conlleva un estudio más detallado del diseño, mediante cálculos del modelo o generando un diseño experimental o tal vez un prototipo real.

#### **5.1.6 FASE 6. COMUNICACIÓN DEL DISEÑO**

La última parte del diseño, es la divulgación de los resultados a los que se llegaron mediante exposiciones orales, trabajos escritos, planos o la simulación del diseño en una computadora y modelos a escala del producto.

### CAPÍTULO III

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 ZONA DE ESTUDIO

El lugar de desarrollo de este proyecto es en La finca La Laguna, Ubicada en la vereda Chizo Cuepar del municipio de San Pablo de Borbur Boyacá (Anexo 1), en la pendiente de la montaña “alto la chapa”, donde cuenta con actividad agropecuaria en la falda de la montaña que da hasta el borde del río minero, en esta, se cultivan varios tipos de víveres y también se disponen de unas zonas para la cría y levante de ganado.



**Ilustración 8** Ubicación Finca La Laguna Fuente: Google Maps

## **6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Es un tipo de investigación proyectiva, debido a que esta “tiene como objetivo diseñar o crear respuestas dirigidas a resolver determinadas situaciones. Los proyectos de arquitectura e ingeniería, el diseño de máquinas, la elaboración de programas informáticos, entre otros, son ejemplos de la misma. Este tipo de investigación potencia el desarrollo tecnológico.” (Córdoba & Monsalve, 2009).

## **6.3. ASPECTOS PARA EL DIAGNOSTICO**

Para el diagnóstico, se debe tener en cuenta la definición según (Villanueva & Ortiz, 2019) quien dice que: “Diagnóstico es una palabra proveniente del griego diagnosis que significa: capacidad de discernir, distinguir o reconocer”. Teniendo en cuenta esto, se reconoce una serie de actividades para la determinación de los factores que intervienen en los estanques piscícolas según (Gallardo, Ortega, Mangas, & Arriaga, 2017) como lo son:

- Información general en las Unidades de Producción Acuícola.
- Elaboración de planos.
- Muestreo de calidad de agua.

### **6.3.1 INFORMACIÓN GENERAL EN LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN ACUICOLA**

Según (Gallardo, Ortega, Mangas, & Arriaga, 2017), se debe determinar el tipo de intervención humana dada por un diagrama de flujo de proceso; las características del recurso hídrico dadas por la cantidad de agua, los requerimientos de oxígeno, las entradas y salidas de agua; y, por último, se debe discriminar los costos e ingresos para relacionarlos en indicadores de productividad.

### **6.3.1.1 MEDICIÓN DE MOVIMIENTO DE AGUA.**

Para la medición del movimiento de agua, se tiene en cuenta el experimento realizado por (LD Didactic GmbH, 2011) sobre la mecánica de ondas en el agua, quien concluye que las ondas tienen un movimiento simétrico axial tanto superficial como en lo más profundo, es por esto que se hace una medición del diámetro del rango de alcance de las ondas producidas por la caída de agua.

### **6.3.2 ELABORACIÓN DE PLANOS.**

Para el levantamiento de planos sobre las dimensiones actuales del estanque, se realizó una medición en campo con un decámetro, cuyas medidas obtenidas se plasmaron en un programa de diseño asistido por computadora (CAD).

### **6.3.3 MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA.**

Para la medición de la calidad de agua se usó un instrumento de medición de parámetros fisicoquímicos suministrado por el zootecnista Alberto Angarita Gómez, quien es el presidente de la Asociación de Productores piscícolas de paz de San Pablo de Borbur.

## **6.4 CARACTERIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES**

### **6.4.1 CUADRO COMPARATIVO**

Para iniciar, se elaboró un cuadro en donde se relaciona las condiciones ideales respecto a las condiciones actuales del estanque, tanto en factores físicas (dimensiones) como en parámetros fisicoquímicos del agua (pH, temperatura, oxigenación disuelta), con el fin de encontrar oportunidades de mejora.

Después, se realiza un cuadro comparativo de los tipos de sistemas tecnificados que existen, donde se relaciona la definición, su funcionamiento, objetivo, ventajas e inconvenientes, infraestructura, costos y mantenimiento, esto permite organizar la información, facilitando su comprensión y la identificación de características semejantes y diferentes de los conceptos.

## **6.4.2 TOMA DE DECISIONES**

Se utilizó el Método de Análisis de Decisión con Criterios Múltiples (MADCM) para la evaluación de alternativas de sistemas tecnificados en piscicultura.

MADCM es un método que ayuda en la toma de decisiones, cuando éstas enfrentan decisiones complejas que requieren la consideración de varios y diversos objetivos (CAR Cundinamarca, 2011). Para trabajar con esta metodología se definieron los objetivos del proyecto, los criterios de evaluación, se determinaron las escalas de medición para describir el rango de valores posibles, se definieron los pesos relativos de los criterios de evaluación, se formuló una matriz de evaluación, se realizaron los cálculos recomendados por la metodología y se seleccionó la mejor alternativa.

## **6.5 DISEÑO**

Para el desarrollo del diseño se identifica cuáles son los componentes necesarios para la elaboración de un estanque piscícola y los materiales adecuados, sugeridos por autores. La metodología usada corresponde a una serie de pasos para la creación del diseño de un producto, propuestos por George Dieter.

Para la primera fase (Reconocimiento de la necesidad), se ejecuta mediante las peticiones del propietario de la finca Ricardo Avila García, quien reconoce que en su finca no se produce lo que se debería a comparación de sistemas más tecnificados, es por esta razón que se establece la necesidad de aumentar la productividad.

En la segunda fase (Definición de un problema), se determina mediante una observación participante y la posterior consulta con la literatura que fundamenta el problema, se logra definir las falencias del sistema piscícola.

Con la tercera y cuarta fase (Recopilación de la información y Conceptualización), se consultaron manuales de producción piscícola, artículos sobre elementos de

optimización de variables fisicoquímicas (pH, Oxigenación y Temperatura) y autores que hablan de los materiales más pertinentes para un estanque piscícola.

Para consiguiente, se emplea la quinta y sexta fase (Evaluación y Comunicación del diseño) donde se elabora la modelación de todos los componentes del sistema tecnificado con sus respectivos planos en el software AutoCAD y se presentan sus vistas con sus respectivas medidas.

## **6.6. PROYECCIÓN DE COSTOS**

Para la proyección de costos, después de haberse determinado el diseño, se conocen todos los elementos necesarios para la implementación del sistema, por ende, se cotizan todos los componentes y materiales a utilizar y lograr así una proyección de costos de elementos a adquirir donde se evidencia el valor, cantidad y costo total de implementación del sistema.

## **6.7 PROYECCIÓN DE PRODUCTIVIDAD**

Para realizar la proyección, se utiliza la fórmula de productividad donde se determinan los costos y los ingresos obtenidos, tanto en la actividad piscícola actual, como con el sistema implementado. También, se realiza la evaluación de la productividad piscícola, según (Kubitza, 2016) donde se determina el rendimiento del estanque por metro cubico al mes.

## **6.8 INDICADORES FINANCIEROS**

Se usan indicadores financieros para determinar la viabilidad del proyecto, en este caso se calcula primero el costo del capital por el método wacc para determinar el porcentaje de costo de inversión y así, con este resultado se pueda aplicar la fórmula del Valor Presente Neto (VPN) para determinar si se debe aceptar o rechazar el proyecto, por último, se utiliza la Tasa Interna de Retorno (TIR) donde se halla el porcentaje de rendimientos futuros del proyecto.

## 7. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA IMPLEMENTADO ACTUALMENTE EN LA FINCA LA LAGUNA

En la parte más alta de la finca, se cuenta con dos estanques de los cuales solo uno tiene actualmente actividad piscícola. En la siguiente fotografía se puede observar el estanque en donde se realiza la actividad y su sistema.



**Ilustración 9** Estanque Actual, Fuente: Elaboración propia de los autores

Se han cultivado hasta 1000 peces del tipo Tilapia Roja, lo que corresponde a 6.4 peces por metro cúbico y que, según la (FAO, 2006), si se pudiera mantener una cantidad de oxígeno suficiente por metro cúbico en el estanque y una temperatura adecuada que favorezca su metabolismo, se podrían lograr alcanzar hasta 100 peces por metro cúbico de agua.

El estanque dispone de dos fuentes de entradas, una por caída de agua y otra por entrada directa de un nacimiento propio de la finca, ver ilustración 10 y 11.



**Ilustración 10** Entrada del nacimiento, Fuente: Elaboración propia de los autores



**Ilustración 11** Caída de Agua al Estanque, Fuente: Elaboración propia de los autores

## 7.1 TOMA DE MEDIDAS Y LEVANTAMIENTO DE PLANOS DE ESTADO ACTUAL

Para la toma de datos del estanque, se usó un decámetro para medir grandes superficies, el uso de un recipiente con volumen conocido para la medición de caudales (FAO, 2012) y el apoyo de un Zootecnista para la toma muestras de laboratorio de la calidad de agua en términos físico químicos. los resultados obtenidos fueron:



### Resultados

#### Medidas del Estanque 1

Longitudinal derecho: 12 metros

Longitudinal izquierdo: 15.5 metros

Ancho superior: 10.8 metros

Ancho inferior: 11.4 metros

Volumen: ~154 m<sup>3</sup>

#### Medidas del Estanque 2

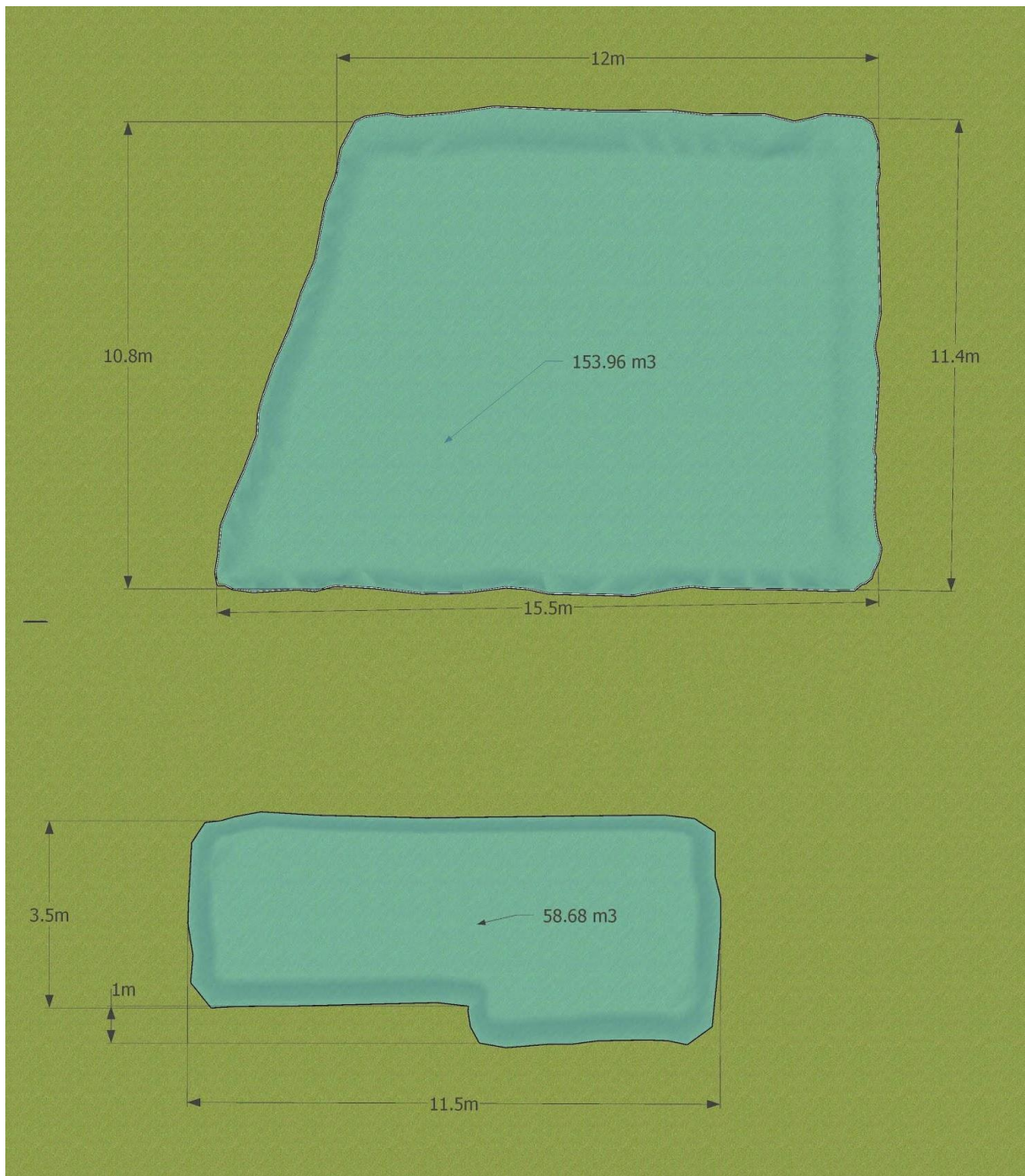
Longitud: 11.5 metros

Ancho: 4.5 metros

Volumen: ~59 m<sup>3</sup>

**Ilustración 12** Estanque actual en la finca la Laguna Fuente: Elaboración propia de los autores

Las medidas tomadas se representan en la siguiente ilustración modelada en CAD Sketchup:



**Ilustración 13** Plano General del estado Actual del estanque, Fuente: Elaboración propia de los autores



### 7.1.3 CAUDAL

Para tomar la medición del caudal, se usó un recipiente con volumen conocido donde se colocó directamente sobre la fuente de agua, arrojando que:



**Ilustración 15** Medición de caudal,  
Fuente: Elaboración propia de los  
autores

Para el caudal del nacimiento en temporada de verano, llenaba un recipiente de 2 litros en aproximadamente ~8.5 segundos, lo que nos da un caudal de ~14.11 Litros por minuto, que es lo mismo a ~20,329 Litros por Día. Para la temporada de invierno este caudal aumenta hasta los ~29,288 Litros por día.

Para el Caudal que cae directamente de una manguera de 3/4" de pulgada de diámetro suspendida a 2.2 metros, el recipiente de 2 L se llena en ~10.8 segundos, lo que da un caudal de ~11.11 Litros por minuto, que es lo mismo a ~15,998 Litros por día. y para la temporada de invierno este caudal aumenta hasta los 19,636 Litros por día

Teniendo en cuenta los caudales que entran al estanque, se obtiene un total de:

**Temporada de Verano:**  $20,329 + 15,998 = \sim 36,327$  L

El recambio de agua sería de aproximadamente:  $\left[\frac{36,327 \cdot 100}{154,000}\right] = \mathbf{20,3\%}$  de los m<sup>3</sup> del estanque

**Temporada de Invierno:**  $29,288 + 19,636 = \sim 48,924$  L

El recambio de agua sería de aproximadamente:  $\left[\frac{48,924 \cdot 100}{154,000}\right] = \mathbf{32,4\%}$  de los m<sup>3</sup> del estanque

#### 7.1.4 DESAGÜE ACTUAL

En el estanque actual, para la salida de agua, existe un único tubo en la superficie del espejo de agua que saca solo los desechos superficiales del estanque, donde, según la (FAO, 2016), se debe sacar el agua inferior del estanque donde se encuentra la mayor cantidad de residuos de los peces y también el agua con menor cantidad de oxígeno y temperatura.



**Ilustración 16** Desagüe actual, Fuente: Elaboración propia de los autores

Esta agua residual baja por la ladera de la montaña atravesando la finca sin ningún otro tipo de uso hasta su llegada al río minero, se puede ver la pendiente de la montaña y la cercanía de la finca al río minero, en la (Ilustración 17).



### **7.1.5 MEDICIONES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA**

Se contactó con el Zootecnista Alberto Angarita Gómez, quien dispone con los instrumentos pertinentes para la toma de Oxígeno Disuelto en Agua (OD), Temperatura y pH. Los instrumentos que se utilizaron para la toma de estos datos son de la marca HANNA ® Instruments S.A.S cuyos los resultados fueron:

**Oxígeno Disuelto:** 5.54 ppm

**pH:** 6.98

**Temperatura:** 20 °C

#### **Discusión.**

La (FAO, 2016) recomienda que el oxígeno disuelto debe estar entre 5 a 9 ppm o 50% de saturación, el pH para que no sea mortal debe ser inferior a 11 y mayor a 4 con valores cercanos a 7 (pH neutro), y la temperatura para que no sea mortal debe ser mayor a 14°C e inferior a 35°C en un punto óptimo de crecimiento entre 23°C y 30°C. (Sarmiento, 2013) (Alicorp, 2015).

Por lo anterior, la cantidad de oxigenación es aceptable para la vida de los peces que se cultivan actualmente, pero si se quisiera aumentar la densidad de peces, la cantidad de oxígeno sería consumida más rápidamente; el pH es el adecuado, al ser un pH neutro no afecta las condiciones de metabolismo de los peces; y la temperatura, es un foco de atención debido a que, sí es cierto que la temperatura está en las condiciones para la no mortalidad de los peces, se debe aumentar más para tener niveles óptimos de crecimiento.(FAO, 2016)

## **7.2 TIPO DE CULTIVO**

En la ilustración 18, encontramos el flujograma del proceso de producción para el cultivo de tilapia que se realiza actualmente en la finca, allí se encuentra desde cuando se hace el pedido de las semillas, hasta la cosecha de los peces, para después empezar todo el proceso de limpieza y desinfección del estanque e iniciar un nuevo cultivo, se concluyó en este diagrama que el tipo de piscicultura es semi-intensiva, debido al tipo de intervención humana que no implica el uso de elementos que controlen todas las variables para el cultivo del estanque.

## **7.2 PRODUCTIVIDAD ACTUAL**

Es importante determinar cuál es la productividad actual de la finca, basados en los ingresos y en los costos que se incurren para la realización de la actividad piscícola. Estos costos se ven reflejados en compra de alevines, alimentación y mano de obra principalmente.

En la parte de alimentación resaltamos que hay 4 tipos de alimentos que se deben comprar dependiendo del crecimiento de los peces, en la tabla 5 se relacionan sus costos ya que varían de acuerdo al tipo y cantidad que se requiere para cada etapa.

En la tabla 5, se relacionan las tablas y los cálculos correspondientes para obtener esta productividad.

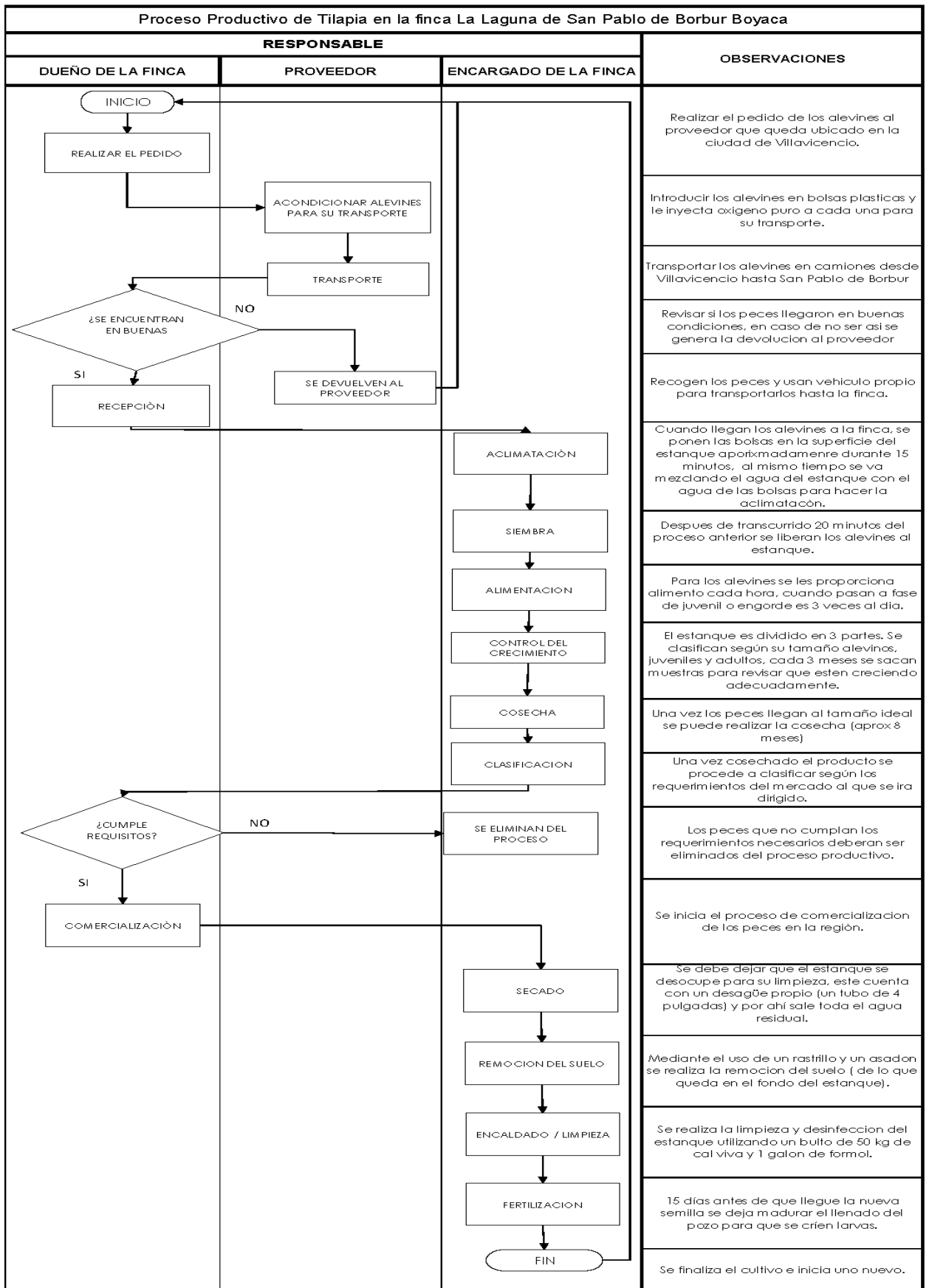


Ilustración 18 Flujograma proceso productivo Tilapia, Fuente: Elaboración propia de los autores

### 7.3 COSTOS

Los costos de operación de la finca constan actualmente de:

Costos actuales	Medida	Cantidad	Costo
Alevines Talla 8	Unidad	1000	\$150.000
Alimento Iniciación 45%	Kg	80	\$203.000
Alimento Levante 38%	Kg	80	\$195.132
Alimento Levante 32%	Kg	120	\$288.600
Alimento Engorde 24%	Kg	200	\$391.665
Mano de Obra	Jornalero/mes	8	\$2.800.000
Mantenimiento	Día	15	\$50.000
		<b>Total</b>	<b>\$4.078.397</b>

**Tabla 5** Tabla de costos actuales IVA incluido, Fuente: Elaboración propia de los autores

### 7.4 INGRESOS

En las condiciones actuales, para que los peces lleguen a su peso comercial de 450 gr, se tarda aproximadamente 8 meses el cultivo. También, debido a que según (Valbuena Rubiano, 2014) la mortalidad máxima esperada es de 10%, se espera que, para un cultivo de 1000 peces, se puedan cosechar 900. Y, por último, el precio de venta por kg en la región oscila entre los \$10.000 y \$12.000, para un precio de venta promedio de \$11.000 por kg.

cantidad	kg/pez	precio/kg	ventas
900	0,45	\$11.000	\$4.455.000

**Tabla 6** Ingresos actuales IVA incluido, Fuente: Elaboración propia de los autores

## 7.5 PRODUCTIVIDAD

Para medir la productividad, primero se relacionan los ingresos con los costos mediante su fórmula sobre el índice de Productividad Global. Después, se mide la productividad en piscicultura según (Kubitza, 2016):

$$\textit{Productividad Global} = \frac{\textit{Valor de la Producción}}{\textit{Costo de la Producción}}$$

$$\textit{Productividad Global} = \frac{\$4.455.000}{\$4.078.397} = 1,1$$

Lo que quiere decir que, por cada peso invertido para la producción de peces en el estanque de la finca, se obtiene 1,1 pesos de ganancia.

### 7.5.1 PRODUCTIVIDAD EN LA PISCICULTURA

Según (Kubitza, 2016), la productividad en piscicultura se mide en la cantidad de biomasa que se puede producir en un tiempo determinado. Para la finca con el estanque de 154 m<sup>3</sup> que cosecha aproximadamente 900 peces, cada uno a un peso comercial de 0,45 kg, nos da un peso total de 405 kg en 8 meses, esto se refleja en la siguiente fórmula de productividad en piscicultura:

$$\textit{Productividad en piscicultura} = \frac{\frac{405 \textit{ kg}}{154 \textit{ m}^3}}{8 \textit{ meses}} =$$
$$0,328 \textit{ kg/m}^3/\textit{mes}$$

lo que quiere decir que, para el sistema actual de producción, se obtiene que cada mes se produce 0,328 kg de biomasa por cada metro cúbico que hay en el estanque.

## 8. CARACTERIZAR LOS ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN SISTEMA PISCÍCOLA TECNIFICADO

Para la caracterización es necesario identificar cuáles son las condiciones actuales del estanque respecto a las condiciones ideales para así determinar los factores que son relevantes en el diseño del sistema. (Gutierrez, 2016)

Debido a las condiciones de las áreas identificadas en el diagnóstico (ver ilustración 13), se determina que unir los dos estanques, daría como resultado optimizar el espacio disponible y por ende serían las condiciones ideales en cuanto a dimensiones.

<b>Condiciones físicas del estanque</b>		
<b>Ítem</b>	<b>Condiciones Ideales</b>	<b>Condiciones actuales</b>
<b>Peces por m<sup>3</sup></b>	hasta 100 peces por m <sup>3</sup>	6.6 peces por m <sup>3</sup>
<b>Dimensiones</b>	Largo: 21 m Ancho: 19 m Profundidad: 1m Área: 399m <sup>3</sup>	Largo : 12m - 15.5m Ancho: 11.4m - 10.8m Profundidad: 1m Área Aprox.: 153.9m <sup>3</sup>

**Tabla 7** Condiciones físicas del estanque, Fuente: Elaboración propia de los autores

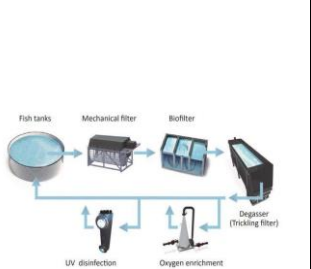

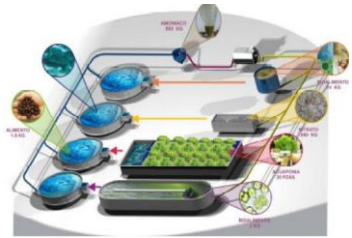
Los datos del siguiente cuadro fueron obtenidos gracias a la ayuda del Zootecnista Alberto Angarita Gómez que vive en la zona y tiene los equipos de medición adecuados para recolectar la información.

<b>Condiciones del agua</b>		
<b>Ítem</b>	<b>Condiciones Ideales</b>	<b>Condiciones actuales</b>
<b>Oxigenación disuelta (ppm)</b>	5.0 - 9.0	5.54
<b>pH</b>	6.0 - 9.0	6.98
<b>Temperatura</b>	25.0 - 32.0 °C	20 °C

**Tabla 8** Condiciones fisicoquímicas del agua, Fuente: Elaboración propia de los autores

## 8.1 COMPARACIÓN DE LOS TIPOS DE SISTEMAS TECNIFICADOS

A continuación, se realiza una comparación de los sistemas de piscicultura tecnificados que existen actualmente y que se pueden adaptar a las condiciones de la finca, además de acuerdo a esta información se determinará cuál de estos sistemas es el más pertinente para el objetivo del proyecto.

	Sistemas de recirculación acuícola (RAS)	Sistema de Aireación	Tecnología BIOFLOC (BTF)
Imagen	 <p>Extraído de:  <a href="http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf">http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf</a></p>	 <p>Extraído de:  <a href="http://www.innovaqua.com/productos/aireacion_sumergida.html">http://www.innovaqua.com/productos/aireacion_sumergida.html</a></p>	 <p>Extraído de:  <a href="http://iotenacuacultura.blogspot.com/2017/08/calidad-de-agua-y-desempeno-de.html">http://iotenacuacultura.blogspot.com/2017/08/calidad-de-agua-y-desempeno-de.html</a></p>
Definición	<p>“Es el sistema que permite garantizar una cantidad de agua suficiente y adecuada para el mantenimiento de los organismos acuáticos en sus diferentes estadios (reproducción, larvario, pre-engorde o engorde).” (Bacaicoa, R. C., 2009)</p>	<p>“Equipos mecánicos encargados de incorporar el oxígeno atmosférico al agua de los tanques de cultivo.”(Pasco, J. M., 2015)</p>	<p>“Es un sistema que retiene los desechos y convierte los bioflocos (BIOFLOC) en un alimento natural dentro de un sistema de cultivo. Monja, M. B. L., &amp; Mejía, C. C. (2016) Es un mecanismo de aprovechamiento de los residuos, de la materia orgánica e inorgánica, siendo este una forma rentable y amigable con el medio ambiente y con aquellos productores que lo emplean actualmente para el cultivo de peces.” (Bru Cordero, S. B, 2016)</p>

<b>Cómo funciona</b>	<p>“Utiliza filtros que ayudan a limpiar el agua y la reciclan, enviándola nuevamente a los tanques de los cultivos de peces. Solo se le añade agua nueva cuando se desea compensar pérdidas por salpicaduras, evaporación y para reemplazar la que se utiliza para eliminar los materiales de desecho.” (International Aquafeed, 2014).</p>	<p>Oxigena el agua y la distribuye uniformemente alrededor del tanque de peces. Esto, alinea la velocidad de circulación con la especie y el tamaño de los peces. (Oxystream, S, 2011)</p>	<p>“Es un mecanismo de aprovechamiento de los residuos, de la materia orgánica e inorgánica, siendo este una forma rentable y amigable con el medio ambiente y con aquellos productores que lo emplean actualmente para el cultivo de peces.” (Bru Cordero, S. B, 2016)</p>
<b>Objetivo</b>	<p>“Incrementar la tasa a la cual ingresa el oxígeno hacia el agua, de tal manera que se produzca un intercambio de gases desde la atmósfera hacia el agua y viceversa.” (Sarmiento, P. E, 2013)</p>	<p>Optimizar la hidrodinámica del tanque con una solución de oxigenación y distribución todo en uno de baja presión. (Linde, 2011).</p>	<p>“El objetivo principal de la tecnología biofloc (BFT) es reemplazar los métodos de cultivos de peces convencionales, reduciendo el consumo de agua y su impacto negativo en el ecosistema, así como la reducción de los espacios de producción, promoviendo el buen uso del agua, en términos de preservación y conservación.” (Biofloc, A., 2017).</p>
<b>Funciones</b>	<p>“- Proporcionar oxígeno disuelto - Mantener limpio el fondo del estanque - Mezclar el agua del estanque y así asegurar que todo el plancton está expuesto a la luz solar - Evitar la estratificación e incrementar la transferencia del oxígeno - Disminuir los niveles de CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>” (Sarmiento, P. E, 2013)</p>	<p>“- Disolver el oxígeno en el agua - Realizar un indicador de flujo de agua - Reducir la concentración de nitrógeno disuelto y la presión de gas total del agua (Treatment, W., &amp; Development, A., 2011). - Disminuir los niveles de CO<sub>2</sub> Y NH<sub>3</sub> - Mezclar el agua del estanque y así asegurar que todo el plancton está expuesto a la luz solar” (Sarmiento, P. E, 2013)</p>	<p>“- Mantenimiento de la calidad del agua por medio de un "secuestro" de los componentes nitrogenados, generando "in situ" proteína microbiana. - Nutrición, disminuir la conversión alimenticia, los costos con alimentos y consecuentemente aumentando la rentabilidad de los cultivos - Aumentar la cantidad de peces en el cultivo - Reciclar los desechos nutricionales y convertirlos en proteína microbial.” (Collazos-Lasso, L. F, &amp; Arias-Castellanos, J. A., 2015).</p>
<b>Ventajas</b>	<p>- Bajo consumo de agua - Menos requerimientos de tierra - Control de la temperatura del agua - Protección contra los elementos y potencialmente depredadores - Control de calidad del agua (International Aquafeed, 2014).</p>	<p>“- Mejor aprovechamiento del alimento - Mejor crecimiento - Mejor supervivencia - Proporciona oxígeno disuelto” (Treatment, W., &amp; Development, A., 2011).</p>	<p>“- El biofloc es una tecnología de cero recambio de agua - Transformación de sustancias de desecho en alimento - Puede llevarse a cabo tanto en agua dulce como en agua salada - Se trata de una tecnología “ECOFRIENDLY” - Aumento de la densidad de cultivo - Aumento de la bioseguridad de la granja” (Milthon Lujan, C. C, 2016)</p>

<b>Inconvenientes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altos costos de construcción</li> <li>- Altos costos de operación porque</li> <li>- Requiere de personal calificado</li> <li>- Depende de aireación permanente</li> <li>- Ingeniería y mantenimiento permanente</li> <li>- Supervisión permanente (International Aquafeed, 2014).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es vulnerable a cambios de clima, si no está cubierto.</li> <li>- A altas cargas orgánicas, la aireación no es suficiente.</li> <li>- Puede causar malos olores en concentraciones bajas de oxígeno.</li> <li>- Para que el sistema sea eficiente, las burbujas de agua deben ser pequeñas</li> <li>- "Si hay burbujas grandes estas se elevan rápidamente en la columna de agua hacia la superficie y por ende permanecen poco tiempo en el agua, reduciendo así la capacidad que posee el oxígeno de disolverse" (Oxystream, S, 2011)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor coste inicial</li> <li>- No todas las especies se pueden utilizar</li> <li>- La aireación es imprescindible</li> <li>- Capacitación del personal acuícola (Biofloc, A.,2017).</li> </ul>
<b>Infraestructura</b>	<p>El RAS requiere básicamente de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Sistema de monitoreo de calidad del agua</li> <li>-Biofiltros</li> <li>-Separador de CO<sub>2</sub></li> <li>-Separador de proteínas</li> <li>-Filtro de tambor</li> <li>-Tanques de cultivo de peces</li> </ul>	<p>El sistema de aireación requiere de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Tanque de cultivo de peces</li> <li>-Soplador o blower</li> <li>-Difusores</li> </ul>	<p>El biofloc requiere de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Tanque de cultivo de peces</li> <li>-Sistema de alimentación</li> <li>-Control de oxígeno</li> <li>-Sistema de aireación</li> <li>-Sedimentador</li> <li>-Biofiltros para la mineralización y biofiltración</li> </ul>
<b>Costos</b>	<p>Según (Bregnballe, J., 2015) la recirculación acuícola tiene un alto costo del equipo y tratamiento del agua, además requiere de un alimento de alta calidad que tiene un costo más elevado.</p>	<p>Sus costos son bajos ya que no requiere de mantenimiento constante, requiere de menos equipos para su funcionamiento y no es necesario mano de obra calificada para su operación.(AguasIndustriales., 2017).</p>	<p>Según la AUNAP (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, 2015) el sistema biofloc tiene elevados costos de inversión debidos a infraestructura y manejo y a que requiere de una alimentación especial.</p>
<b>Mantenimiento</b>	<p>Según (Sarmiento, P. E, 2013) este sistema requiere de ingeniería y mantenimiento constante por personas capacitadas.</p>	<p>Este sistema no requiere de un mantenimiento permanente, se puede realizar fácilmente por un operario y no es necesario parar todo el proceso para la realización del mismo. (AguasIndustriales., 2017).</p>	<p>Este sistema requiere de un estricto y permanente mantenimiento ya que se debe verificar todos los parámetros de la calidad del agua para evitar inconvenientes en el proceso. (Lasso, L. F. C., &amp; Castellanos, J. A. A., 2012)</p>

**Tabla 9** Comparación de sistemas, Fuente: Elaboración propia de autores

## **CAPÍTULO IV**

### **9. TOMA DE DECISIONES**

De acuerdo a lo mencionado anteriormente en la metodología, se va a ser uso del Método de Análisis de Decisión con Criterios Múltiples (MADCM) para la evaluación de alternativas de sistemas tecnificados en Piscicultura.

#### **9.1 SELECCIÓN DE LOS FACTORES DE DECISIÓN**

Los factores de decisión se determinaron basados en las siguientes necesidades del sistema piscícola actual, y que se buscan cubrir con el diseño.

- Reducción de costos de implementación
- Reducción de costos de mano de obra
- Simplicidad operacional por falta de personal cualificado en la finca
- La finca cuenta con fuentes naturales de agua, por ende, no se hace necesario la recirculación de la misma
- Reducir gasto energético debido a la restricción en la zona de este servicio
- Optimizar el área disponible ya que actualmente se está desaprovechando el espacio
- Aumentar la capacidad de producción
- Reducción en costos de operación y mantenimiento

### 9.1.2 FACTORES DE DECISIÓN.

De acuerdo a las necesidades anteriormente mencionadas se seleccionaron los siguientes factores

- Costo de implementación
- Costos de mano de obra
- Simplicidad operacional
- Gasto energético
- Área requerida
- Costo de operación y mantenimiento
- Requerimiento de agua
- Capacidad de producción

### 9.2 PESO RELATIVO

Según la (CAR Cundinamarca, 2011), después de determinar los criterios de decisión se debe asignar un peso relativo a cada uno, para equilibrar su importancia. En este caso se aplica un peso de 5 al factor de decisión que tiene una importancia sobresaliente frente a los demás, se asigna un peso de 3 a un factor que tiene menores implicaciones e impacto y 1 al que tiene menor importancia de todos. “La determinación de una evaluación entre 3 y 5 obedece a un rango típico de calificación empleado alrededor del mundo, donde una puntuación de 5 significa sobresaliente, 3 suficiente y 1 muy deficiente.” (CAR Cundinamarca, 2011).

<b>Factor de decisión</b>	<b>Peso Relativo</b>
Costo de implementación	3
Costo de mano de obra	4
Simplicidad operacional	4
Gasto energético	5
Área requerida	2
Costo de operación y mantenimiento	3
Requerimiento de agua	4
Capacidad de producción	5

**Tabla 10** Factores de decisión, Fuente elaboración propia.

<b>Sistemas tecnificados</b>
Sistema de recirculación (RAS)
Sistema de aireación
Sistema Biofloc

**Tabla 11** Alternativas: sistemas tecnificados, Fuente: elaboración propia.

Para la evaluación a cada alternativa se asigna una calificación de 1 a 5, siendo 5 el que genera más beneficio y 1 el más desfavorable.

### 9.3 EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE DECISIÓN

Teniendo cada factor con su respectiva calificación, se procede a multiplicar este valor por el peso relativo y se hace una suma final, el que obtenga el puntaje más alto es la mejor alternativa.

FACTOR DE DECISIÓN	PESO RELATIVO	ALTERNATIVAS					
		SISTEMA DE RECIRCULACIÓN		SISTEMA DE AIREACIÓN		SISTEMA BIOFLOC	
		Puntaje (1 - 5)	Puntaje Total	Puntaje (1 - 5)	Puntaje Total	Puntaje (1 - 5)	Puntaje Total
Costos de implementación	3	3	9	4	12	1	3
Costos de mano de obra	4	2	8	5	20	1	4
Simplicidad operacional	4	2	8	4	16	2	8
Gasto energético	5	2	10	3	15	2	10
Requerimiento de área	2	4	8	3	6	4	8
Costos de operación y mantenimiento	3	3	9	3	9	2	6
Requerimiento de agua	4	4	16	3	12	4	16
Capacidad de producción	5	2	10	3	15	5	25
<b>TOTAL</b>			<b>78</b>		<b>105</b>		<b>80</b>

**Tabla 12** toma de decisiones, Fuente: elaboración propia.

Se determina que el sistema de aireación es el más beneficioso para cumplir el objetivo, ya que obtuvo un puntaje de 105 frente a los otros dos sistemas. Los factores de decisión que permitieron posicionar este sistema por encima de los demás fueron los costos de mano de obra, simplicidad operacional y gasto energético.

Se ha decidido que se hará el diseño utilizando el sistema de aireación, específicamente con el blower, considerando los factores de decisión mencionados anteriormente y teniendo en cuenta el objetivo del proyecto (Anexo 2).

#### **9.4 GENERALIDADES QUE APORTAN A LA TOMA DE DECISIÓN**

El sistema de aireación del blower es de fácil instalación ya que es una única pieza móvil que solo necesita ser conectado a una tubería central para que empiece a generar la aireación suficiente para optimizar la oxigenación del agua (Fimaq, 2016), en cambio, el sistema de recirculación (RAS) requiere de tanques de geo membrana, decantadores, filtros mecánicos, biofiltros, sistema de bombeo y una unidad de cuarentena para su instalación (Gamboa, V. 2014) y para el BIOFLOC es necesaria la utilización de equipos de aireación, equipo de análisis de agua, sistemas de aireación u oxigenación de emergencia o respaldo y equipo de generación eléctrica de emergencia (Bioaquafloc, 2018).

En cuanto a gasto energético, el blower al ser solo una pieza va a consumir menos energía que los otros dos sistemas que sí necesitan de varios equipos para su funcionamiento, otra ventaja del blower es que es capaz de alcanzar mayores presiones operacionales y operan fácilmente en ambientes corrosivos (acuagranja, 2016). Adicional a esto por las condiciones de la finca en cuanto a su ubicación y por falta de infraestructura no se tiene acceso a redes de energía que puedan ser lo suficientemente confiables para proveer la energía necesaria para sostener un sistema como el de recirculación o el de biofloc.

Por otro lado, el área que se requiere para el sistema de recirculación y para el biofloc es mucho mayor, ya que se necesita al menos de dos tanques adicionales

para su funcionamiento y el área que se tiene disponible en la finca para esta actividad es limitada.

En cuanto a costos, se puede determinar que el sistema de aireación con blower es más bajo por diferentes aspectos, primero su instalación como ya lo nombramos anteriormente es más fácil ya que solo cuenta con una unidad móvil, no se necesita de personas especializadas para su manejo lo que reduce el costo de mano de obra. A diferencia, el sistema biofloc necesita de personal capacitado para el manejo de esta tecnología ya que se requiere un adecuado manejo de cada uno de los tanques que lo componen (tanques para aireación, sedimentación, mineralización y biofiltración). En el país no hay muchos técnicos capacitados, estudiados y entrenados en esta área, tampoco se encuentran muchas instituciones que oferten formación a nivel de pregrado específicamente en acuicultura, solamente hay 3 instituciones registradas en el Ministerio de Educación y en su currículum el sistema biofloc lo tocan muy superficial. (Lasso, L. F. C., & Castellanos, J. A. A. 2012)

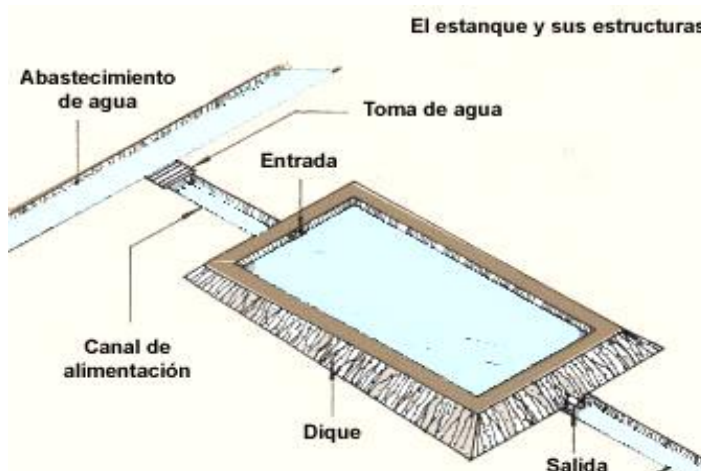
## 10. DESARROLLO DEL DISEÑO DEL SISTEMA PISCÍCOLA

### 10.1 DISEÑO DEL SISTEMA

Como cumplimiento de la pregunta problema, el objetivo del diseño del sistema se centrará en el aumento de la calidad de agua, específicamente en factores de oxigenación y temperatura, mediante el sistema que hemos elegido en la caracterización.

### 10.2 COMPONENTES DEL ESTANQUE

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, el diseño de un estanque debe considerar las siguientes características:



- Abastecimiento de Agua.
- Canal de Alimentación.
- Entrada.
- Dique.
- Salida.
- Canal de Vaciado.

**Ilustración 19** El estanque y sus estructuras, Fuente: (FAO,2003)

No obstante, la sola configuración de un estanque de esta manera no siempre mantendrá las condiciones de oxigenación adecuada para el buen metabolismo de los peces, por ende, se usan sistemas artificiales de oxigenación de agua.

### 10.3 ABASTECIMIENTO DE AGUA Y CANAL DE ALIMENTACIÓN

El estanque de la finca cuenta con un nacimiento de agua propio y de una entrada de agua externa proveniente de un afluente cercano, este último, es capaz de traer más agua para aumentar el caudal de abastecimiento usando la gravedad tal y como dice (Kubitza, F. 2016), se aplica este método en lugares donde la fuente de agua está en un nivel por encima de la cota de agua de los estanques y cuya distribución del agua a los estanques es realizada a través de canales abiertos o por medio de tuberías.



**Ilustración 20** Afluente cercano, Fuente:  
Elaboración propia de los autores

Si se integra un tubo de mayor diámetro, aumentaría el caudal existente, teniendo en cuenta que el caudal de la quebrada es mucho mayor que el volumen y la presión del agua en el tubo, teóricamente se mantendría constante. Se realizará un aumento de  $\frac{3}{4}$  de pulgada a 1 pulgada. para comprobar el aumento teórico, se usará la fórmula de la relación entre el volumen del líquido que fluye por un conducto y el tiempo que tarda en fluir (Gasto) de la hidrodinámica. (Hernández, 2014)

$$Gasto = \frac{Volumen}{tiempo}$$

Existe otra forma de calcular el gasto o caudal cuando se conoce la velocidad del líquido y el área de la sección transversal de la tubería por la cual circula; de tal forma que:

Gasto = (Área de la sección transversal de la tubería) (velocidad del líquido)

$$G = A \cdot v$$

El gasto para el caudal actual con un tubo de diámetro de  $\frac{3}{4}$  de pulgada (1.905 centímetros) según el área de salida del tubo que sería de  $A = r^2 \cdot \pi$ . para ello primero se calcula el radio que será: radio (r) = Diámetro (1.905) / 2 = 0.9525 cm de radio que es igual a 0.009525m

obtendremos entonces:

$$A = (0.009525m)^2 \cdot \pi = 0.0002850m^2 \text{ de área del tubo}$$

11.11 litros por minuto de caudal es igual a: 0.01111 m<sup>3</sup> por minuto

despejando la fórmula de gasto con respecto a velocidad obtendremos que:

$$v = \frac{G}{A}$$

$$v = \frac{0.01111m^3/min}{0.0002850m^2} = 38.9 \text{ metros por minuto}$$

La velocidad del caudal en el tubo de  $\frac{3}{4}$  de pulgada es aproximadamente de 38.9 metros por minuto. Para calcular el gasto (caudal) de un tubo de 1 pulgada de diámetro (2.54 cm) sería:

radio (r) = Diámetro (2.54cm) / 2 = 1.27 cm de radio que es igual a 0.0127 m

para un área de = 0.0005067m<sup>2</sup>

$G = 0.0005067m^2 \times 38.9 m/min = 0.0197 \text{ m}^3 \text{ por minuto}$  o lo que es igual a 19.7 litros por minuto.

Estos datos teóricos corresponden a que un aumento del diámetro del tubo para el canal de alimentación del estanque, obedecerá a un aumento que pasaría de 11.11 litros por minuto a ~19.7 litros por minuto aproximadamente, esto

representaría un caudal diario de ~28,368 litros por día lo que significa que sumado con el caudal diario del nacimiento en temporada de verano (15,998 L+28368 L), daría que para las dimensiones ideales estipuladas en la caracterización (399 m<sup>3</sup>), significaría un suficiente recambio diario del 16%. (Claudia Merino, Patricia Bonilla, & Bages, 2013)

#### 10.4 ENTRADA DE AGUA

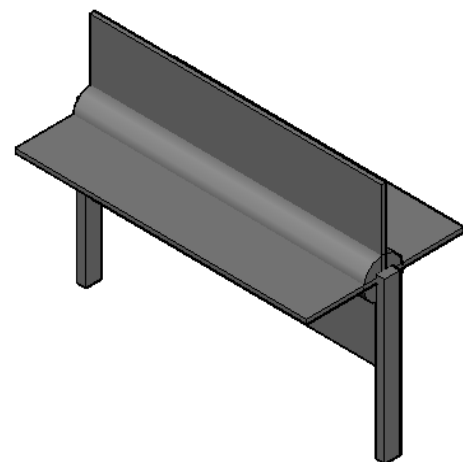
Para la entrada de agua y el aprovechamiento del agua del nacimiento y del efluente, la (FAO, 2016) recomienda una serie de métodos como:

- Aumentar la altura desde la cual cae el agua; aumenta el ancho del caudal y el área de contacto con el aire; aumenta la salpicadura y la pulverización del agua en finas gotas.
- Si el agua que alimenta el estanque llega a través de una tubería, se puede mejorar la oxigenación agregando un codo de 90° al final de la tubería y dirigiendo la salida hacia arriba; y que la caída de agua se fragmente ya sea por barreras o por molinos para aumentar la oxigenación del agua, para este caso se usará el sistema de molino en madera debido a su bajo costo y simplicidad en construcción (ilustración 21). (Anexo 3)

**Ilustración 21** Entrada de agua: Fuente: Elaboración propia de los autores



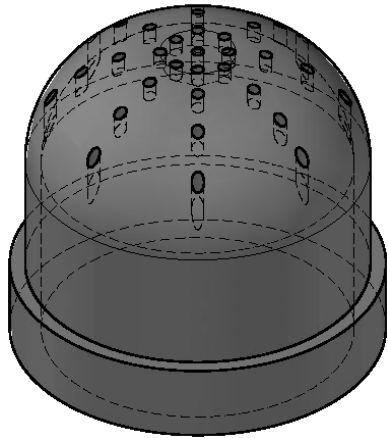
**A.** Fotografía entrada de agua



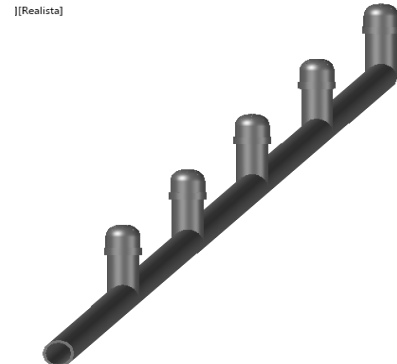
**B.** Plano entrada de agua

Para la entrada de agua por parte de la tubería de 1 pulgada, se aplicará lo dicho por la (FAO, 2016) sobre la posición de los tubos a 90° inclinados hacia arriba, (ver ilustración 22). Se contemplaron 5 salidas de agua, para que exista más contacto entre el caudal de agua y el aire.

**Ilustración 22** Salida de agua: Fuente: Elaboración propia de los autores



**A.** Modelo de entrada de agua



**B.** Modelo salida de agua

El material recomendado para la tubería según la (FAO, 2016) es el PVC debido a su larga vida útil, éste estaría ubicado a 2 metros de altura del espejo de agua, para que genere más transferencia de oxígeno con el agua. Con estos dos diseños de entrada de agua, recomendados por la FAO, Teóricamente se lograría aumentar también la oxigenación del estanque y mantener un caudal de 24,192 Litros por día (10,080 L del nacimiento + 14,112 L del tubo).

## 10.5 DIQUE

En el diseño se tiene en cuenta lo hallado en el diagnóstico (ver ilustración 13), para el aprovechamiento del espacio mediante el uso de los dos terrenos de los estanques que hay actualmente, se unirán y se creará un espacio de 21 metros de longitud por 19 metros de ancho y 1.1 metros de profundidad (ver Anexo 7).

El material empleado es concreto, debido a que según (Toledo-Pérez & García-Capote, 2000), los cultivos intensivos se emplean de esta manera también para disminuir la filtración de agua, mantener más la temperatura y se hace más sencilla la manutención. (Franco Gómez, 2013)



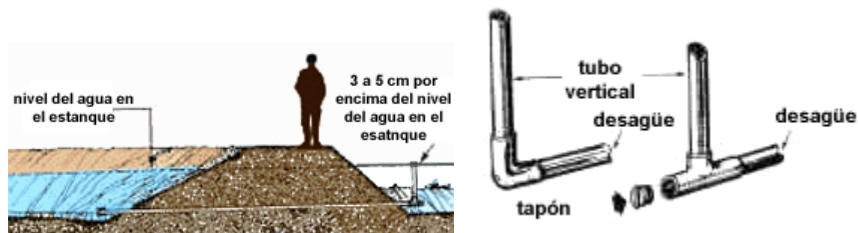
**Ilustración 23** Modelado de estanque, Fuente: Elaboración propia de los autores

La construcción de este dique aumentaría de  $\sim 154 \text{ m}^3$  actuales a  $399 \text{ m}^3$  disponibles lo que incrementa la cantidad de peces que se podrían producir en este espacio.

## 10.6 DESAGÜE Y CANAL DE VACIADO

En el diseño del desagüe, según la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA, 2010) la mejor manera de vaciar el estanque es desde el fondo, porque ésta es la que guarda la mayor cantidad de residuos de los peces, menor cantidad de oxígeno y no tiene la temperatura ideal para los peces.

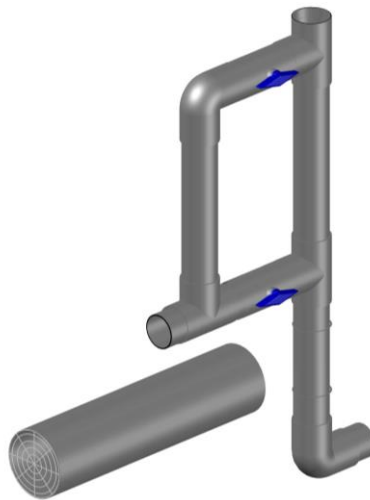
**Ilustración 24** Tubo de salida de agua, Fuente: FAO (2006)



**A.** Salida de agua, Fuente: (FAO, 2006)

**B.** Tubo de salida de agua, Fuente (FAO, 2006)

El diseño de desagüe con tubo en PVC vertical (Anexo 8), se hace de esta manera para mantener un nivel de agua adecuado dependiendo de las necesidades de las etapas de los peces, como, por ejemplo, a menor nivel de agua, mayor temperatura ideal para la etapa de alevinaje. (DINARA, 2010)



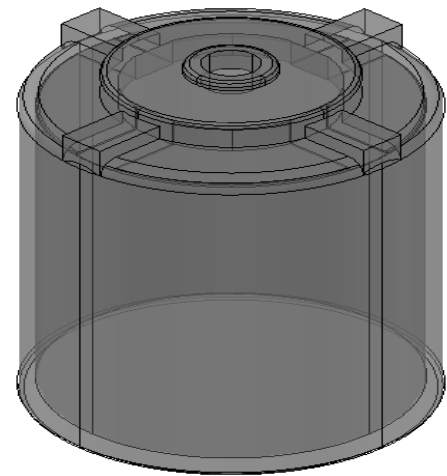
**Ilustración 25** Desagüe, Fuente: Elaboración propia de los autores

El agua que sale del estanque puede usarse para el riego de las plantas agrícolas tal como lo dice (Salazar, 2000), es por esto que se va a colocar un tanque de aproximadamente 250 L que albergue temporalmente las aguas servidas para luego ser distribuida por la finca para su uso como riego de plantas. Esto con el fin de hacer más sostenible el uso de las aguas del estanque y cumplir las leyes como el Decreto 3930 de 2010 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos

**Ilustración 26** Tanque recolector de agua



**A.** Tanque recolector de agua Fuente: Colempaques



**B.** Modelado Tanque Fuente: Elaboración propia

## 10.7 OXIGENACIÓN

Debido a que se aumenta el volumen del agua al pasar de un dique de 154 m<sup>3</sup> al diseño propuesto de 399 m<sup>3</sup>, se debe también garantizar la cantidad de oxígeno adecuado para los peces, sabiendo que, actualmente la oxigenación está en un punto donde bien los peces pueden sobrevivir, no es el ideal (según lo especificado en las condiciones ideales de la caracterización), para un desarrollo de su metabolismo (FAO, 2016), por ende, se va a diseñar un sistema de aireación para aumentar la oxigenación.

Según un estudio realizado por la Universidad De Salamanca en el 2010, Un sistema básico de difusión de aire está conformado por tuberías sumergidas en el agua y tiene agujeros pequeños. Estos tubos transportan el aire comprimido a través del mismo y sale por los agujeros formando pequeñas burbujas. Este sistema puede ser implementado simplemente mediante tuberías con agujeros o puede utilizarse difusores especiales que producen burbujas de diferentes tamaños y formas. Es importante resaltar que este sistema de difusión necesita de un plato poroso, membranas flexibles o cualquier otra manera que exista para romper el aire en pequeñas burbujas antes de que éste entre en contacto con el agua.

En el mismo estudio, se determina que cuando se usa un sistema de aireación, depende del tamaño de las burbujas y del tiempo que estén en contacto con el agua, la cantidad de oxígeno disuelto que exista. Es decir, cuanto mayor sea el tiempo de contacto y menor el tamaño de las burbujas, mayor será la eficacia en la transferencia de oxígeno. Los difusores deben estar ubicados en el fondo del estanque, lo que permitiría mayor tiempo de contacto antes de que las burbujas lleguen a la superficie y pasen a la atmósfera.

La eficacia en la transferencia de oxígeno de los diferentes difusores según el estudio es:

Burbuja fina: 12 - 20 %

Burbuja media: 8 - 15 %

Burbuja grande: 4 - 8 %.

De acuerdo a lo anterior, se usará el sistema de aireación por blowers, con difusores de burbuja fina que aumenta la oxigenación del agua en el estanque.

**Ilustración 27** Blower y difusores



**A.** Blower Fuente: <https://www.indiamart.com>    **B.** Difusores, Fuente: <http://www.hollyep.com/html/Fine%20Bu>

Se usarán difusores de burbuja fina de 12 pulgadas de diámetro con un gasto de aire según (Conagua, 2008) de aproximadamente 3.32 m<sup>3</sup>/hr cada uno, y con un área de servicio de cada difusor de 1.5 m<sup>2</sup> de espejo de agua según el fabricante.

Por lo anterior, significa que cada difusor debe estar separado entre sí 3 m<sup>2</sup> para la mayor eficiencia del sistema; los planos de este sistema de difusores se pueden ver en el (Anexo 10).



**Ilustración 28** Modelado de Sistema de Difusores, Fuente: Elaboración propia de los autores

Teniendo en cuenta que el difusor puede abarcar un área de  $3 \text{ m}^2$ , se realiza el cálculo de cuantos difusores pueden ocuparse longitudinal ( $21\text{m}$  de largo/ $3\text{m}$ ) y transversalmente ( $19\text{m}$  de ancho/ $3\text{m}$ ), como resultado se obtiene una matriz de  $7 \times 6$  difusores, por ende se emplearon 42 difusores de aire por burbuja fina en total para el sistema, debido a que estos requieren un caudal de aire aproximadamente de  $139.4 \text{ m}^3/\text{hr}$ , para ello se va emplear un blower de  $1.1 \text{ kW}$  con una potencia de  $1.5$  Caballos de Fuerza con un caudal de aire de  $2.8 \text{ m}^3$  de aire por minuto (Anexo 11), o que es lo mismo  $169 \text{ m}^3$  de aire por hora, lo que sería más que suficiente para la demanda de aire de los difusores.

Con aplicación de este sistema de aireación, se estima que los difusores con poro fino tendrán una eficiencia de transferencia de oxígeno entre  $1.2$  y  $2.0 \text{ kg O}_2/\text{kWhr}$  (Barreto-curriel, Durazo, & Viana, 2015)

Además, según (Barreto-curriel, Durazo, & Viana, 2015), el consumo de oxígeno de la tilapia roja es de  $387 \pm 48 \mu\text{g O}_2/\text{h/g}$ , lo que quiere decir que para un pez que pese 450 g (que es el peso promedio de cosecha), el consumo de oxígeno sería  $171\,000 \mu\text{g O}_2/\text{h}$ . Ahora, el difusor de 1.1 kW con una transferencia de oxígeno a razón de  $1.6 \text{ kg O}_2/\text{kWhr}$  (Simón Andreu, Lardín Mifsut, del Cacho Sanz, & García Yuste, 2015), podría producir un promedio de  $1.750.000.000 \mu\text{g O}_2/\text{h}$ , lo que quiere decir que solo el difusor sería capaz de producir en una hora el oxígeno suficiente para mantener 10.233 peces.

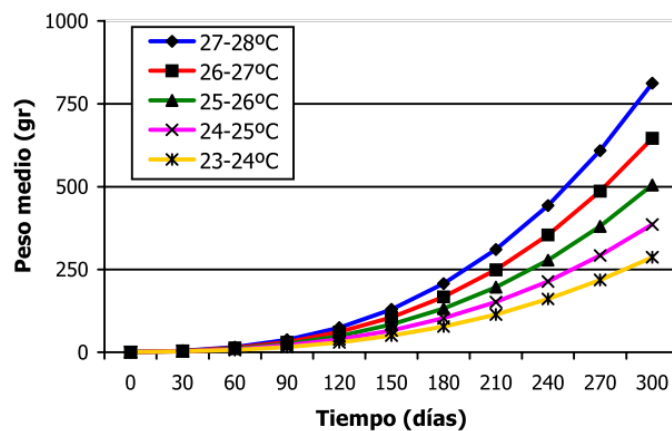
Estos cálculos de difusión de aire se hacen con el supuesto de que los blowers estén encendidos todo el día, pero según (Colado, 2004), se puede usar el sistema de aireación rutinaria donde no necesariamente se debe hacer uso constante de ellos. Para el diseño se estima que se usarán 2 blowers con un timer programable para que encienda uno y apague el otro en intervalos de 8 horas, con el fin de dar mayor vida útil a los equipos y garantía de oxígeno en caso de emergencia por daño. Los blowers, el generador de energía y la comida de los peces se van a almacenar en un cuarto específico. (Anexo 12)



**Ilustración 29** Modelo de bodega, Fuente: Elaboración propia de los autores

## 10.8 TEMPERATURA

Según el diagnóstico hecho, se obtuvo que la temperatura es baja a comparación de los niveles óptimos, tal como lo dice (Arboleda, M. 2010), para la Tilapia las condiciones ideales de temperatura son de 25°C a 30°C, y si el pescado se enfrenta a temperaturas más bajas, disminuye su metabolismo, afectando su crecimiento y engorde.



**Ilustración 30** Curva de crecimiento de la tilapia para varias temperaturas de agua, Fuente (Martínez et al., 2003)

Para aumentar la temperatura del estanque, (Martínez & Valencia, 2013) sugieren el uso de calentadores solares caseros, que consisten en un panel, el cual es una manguera negra de polietileno ubicada dentro de botellas de plástico expuestas directamente al sol, que funcionan como invernadero que concentren el calor en la manguera para así aumentar la temperatura del agua que entra al estanque.



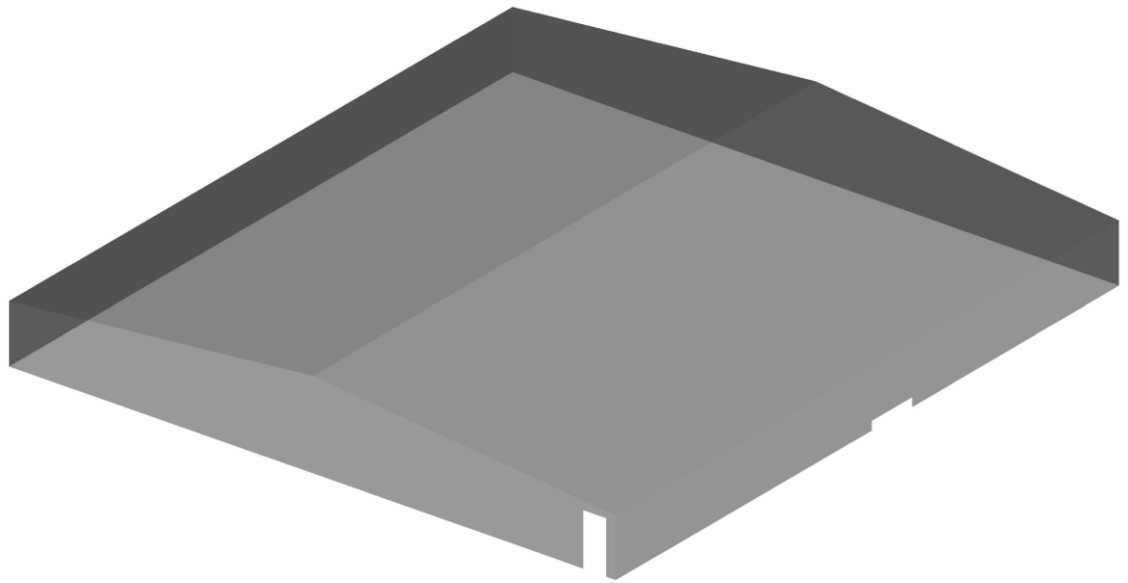
**Ilustración 31** Calentador de agua, Fuente: (Martínez y Valencia, 2013)



**Ilustración 32** Modelado de calentador de agua, Fuente: Elaboración propia de los autores

Este calentador de agua, estaría conectado al abastecimiento de agua del afluente cercano (Ver Ilustración 21) (Anexo 13), para que el agua que entre al estanque por esta fuente, aumente la temperatura, Según estudios de la Universidad de Rio de Janeiro “Universidade do Estado do Rio de Janeiro and UFSC” en el 2009, demostraron que el agua que circula por este tipo de calentadores solares caseros podría llegar hasta los 50°C, pero como el flujo de agua de este tubo de abastecimiento no corresponde a la totalidad del agua que hay en el estanque, esta se disipará y existiría un aumento de aproximadamente 2°C en todo el estanque según (Martínez & Valencia, 2013).

También, para aumentar y mantener la temperatura del estanque, según (Hahn-von-hessberg & Grajales-quintero, 2016), el uso de invernaderos en los estanques piscícolas aumentaría la temperatura en aproximadamente 3°C a comparación de los estanques a cielo abierto. También mantendrá la temperatura obtenida del calentador de agua solar y como ítem adicional daría protección al estanque con respecto a los depredadores naturales de los peces. (Anexo 14)



**Ilustración 33** Diseño de invernadero, Fuente: Elaboración propia de los autores

Con estos 2 sistemas de calentamiento de agua, se espera que se aumente la temperatura de 20°C a ~25°C y así incrementar la tasa de crecimiento de los peces hasta en un 13,7% (Iñiguez, 2005), logrando de esta manera que lleguen a su peso comercial 31,7 días más rápido de lo que actualmente se logra, lo que se traduciría en poder hacer más cosechas al año (Alcalá, M., Castillo, S., Ponce, J., Nayarit, U & Blas, S. 2016)

## **10.9 PROYECCIÓN DE PRODUCTIVIDAD**

Para conocer el aumento de la productividad que este sistema puede lograr, primero se debe saber los costos que se incurren en la implementación del mismo. También, se debe conocer la proyección de los ingresos que se generarían por el aumento de peces cosechados, y, por último, se debe hacer una comparación entre la productividad con el sistema actual y la del sistema propuesto.

### **10.9.1 PROYECCIÓN DE COSTOS**

Para la implementación del sistema se incurre en una serie de costos de materiales, equipos y mano de obra necesarios para el cumplimiento de los objetivos del proyecto, estos costos se describen detalladamente en la Tabla 14 donde se especifica la unidad de medida y la cantidad necesaria. Los precios de esta tabla se extrajeron de diferentes tiendas oficiales con valores del primer trimestre de 2019.

### 10.9.1.1 PROYECCIÓN DE COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Ítem	unidad medida	cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Madera 1 cm grosor	m <sup>2</sup>	1	\$137.900	\$137.900
Manguera Polietileno Negra 1 pulgada	m	1150	\$1.060	\$1.219.000
Tubo PVC 1"	m	20	\$1.995	\$39.900
Tapón PVC 1"	Unidad	5	\$1.300	\$6.500
Concreto	m <sup>3</sup>	14,61	\$335.240	\$4.897.856
Tubo PVC 3"	m	2	\$8.817	\$17.633
Tubo PVC 6"	m	0,6	\$24.300	\$14.580
Válvula de bola lisa 3"	Unidad	2	\$46.900	\$93.800
Tee 3" PVC	Unidad	3	\$4.060	\$12.180
Codo PVC 3"	Unidad	2	\$4.500	\$9.000
Tanque 250L Cilíndrico	Unidad	1	\$169.400	\$169.400
Blowers 1.5 HP	Unidad	2	\$688.450	\$1.376.900
Difusores Burbuja Fina 12"	Unidad	42	\$18.776	\$788.608
Tubo PVC 2"	m	131	\$5.983	\$783.773
Tee Doble PVC 2"	Unidad	7	\$5.900	\$41.300
Bloque #4 estándar 10 x 20 x 30 cm	Unidad	266	\$800	\$212.800
Cemento gris 50kg	bulto	1	\$22.000	\$22.000
Teja Zinc 3m x 0.8 m	unidad	2	\$23.650	\$47.300
Botellas de plástico	unidad	182	\$52	\$9.500
Tee Para Manguera De Polietileno 1"	unidad	24	\$6.906	\$165.744
Codo Para Manguera De Polietileno 1"	unidad	2	\$5.760	\$11.520
Invernadero				\$3.000.000
Medidor de Oxígeno, pH y temperatura.	Unidad	1	\$1.371.900	\$1.371.900
Timer Programable	Unidad	1	\$42.900	\$42.900
Cheque	Unidad	2	\$63.023	\$126.046
Generador de Energía 1.2 kW	Unidad	1	\$899.900	\$899.900
Mano de Obra				\$3.400.000
Imprevistos	%	5		\$945.897
			Costo Total	\$19.863.837

**Tabla 13** Proyección de costos de implementación IVA incluido, Fuente: Elaboración propia de los autores

### 10.9.1.2 PROYECCIÓN DE COSTOS DE OPERACIÓN ESTIMADOS

Con el sistema implementado se espera pasar de una producción de peces de 1000 en 8 meses a 11.300 en 7 meses, lo que quiere decir que comparado con los costos actuales (ver Tabla 5) se multiplica los costos de alimentación, compra de alevines y costos de mano de obra, al dar un empleo oficial.

Proyección de Costos	Medida	Cantidad	Costo
Alevines Talla 8	Unidad	12555	\$1.883.250
Alimento Iniciación 45%	Kg	960	\$2.639.000
Alimento Levante 38%	Kg	960	\$2.536.716
Alimento Levante 32%	Kg	1440	\$3.751.800
Alimento Engorde 24%	Kg	2400	\$5.091.645
Mano de Obra	Trabajador	7	\$9.921.825
Costo energía	kW/Mes	7	\$2.906.719
		<b>Total</b>	<b>\$28.730.956</b>

**Tabla 14** Proyección de costos estimados del primer periodo IVA incluido, Fuente: Elaboración propia de los autores

La compra de 12.555 alevines está ligada al margen de mortalidad esperada según (Valbuena Rubiano, 2014), es decir, la pérdida del 10% daría como resultado los 11.300 que se esperan mantener en el sistema. Los costos de mano de obra se realizaron con las obligaciones de ley que se deben pagar al trabajador en base al salario mínimo en Colombia para el año 2019 (Anexo 15). El costo de la energía se realizó con el consumo de los equipos en base al costo del kW/h en Colombia para los estratos 1 y 2 (Anexo 16).

## 10.9.2 PROYECCIÓN DE INGRESOS ESTIMADOS

Para los ingresos, asumiendo el mismo precio de venta, pero a mayor cantidad de kg de peces, y en un menor tiempo de cosecha debido a las condiciones de temperatura ya mencionadas se obtiene:

Cantidad	kg	precio/kg	Ventas
11300	0,45	\$11.000	\$55.935.000

**Tabla 15** Proyección de ingresos estimados del primer periodo IVA incluido, Fuente: Elaboración propia de los autores

Para una productividad en el primer periodo de:

## 10.9.3 PRODUCTIVIDAD

### 10.9.3.1 PROYECCIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN EL PERIODO 1

$$Productividad\ Global_1 = \frac{\$55.935.000}{\$28.730.956} = 1,9$$

Lo que traduce que, por cada peso invertido para la producción, se obtiene 1,9 pesos, es decir que se tiene una productividad mayor a comparación del sistema implementado actualmente que tiene una productividad de 1,1.

### 10.9.3.2 PROYECCIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN EL PERIODO 2

Para los siguientes periodos se incluiría el mantenimiento del sistema donde los costos serían:

Proyección de Costos	Medida	Cantidad	Costo
Alevines Talla 8	Unidad	12555	\$1.950.000
Alimento Iniciación 45%	Kg	100	\$2.639.000
Alimento Levante 38%	Kg	100	\$2.536.716
Alimento Levante 32%	Kg	150	\$3.751.800
Alimento Engorde 24%	Kg	150	\$5.091.645
Mano de Obra	Trabajador	8	\$9.921.825
Costo energía	kW/Mes	8	\$3.321.965
Mantenimiento	Día	3	\$174.412
		<b>Total</b>	<b>\$29.387.363</b>

**Tabla 16** Proyección de costos estimados del segundo periodo IVA incluido, Fuente: Elaboración propia de los autores

En el segundo periodo se incluye los costos de mantenimiento pos cosecha para dar mayor durabilidad a los equipos del sistema (Anexo 17).

Teniendo en cuenta las mismas cantidades de producción y los mismos precios de venta, se obtiene los mismos ingresos para el periodo 1, lo que nos da una productividad de:

$$Productividad\ Global_2 = \frac{\$55.935.000}{\$29.387.363} = 1,9$$

La productividad aumentaría considerablemente pasando de 1,1 a 1,9 pesos por cada peso invertido para la producción de peces.

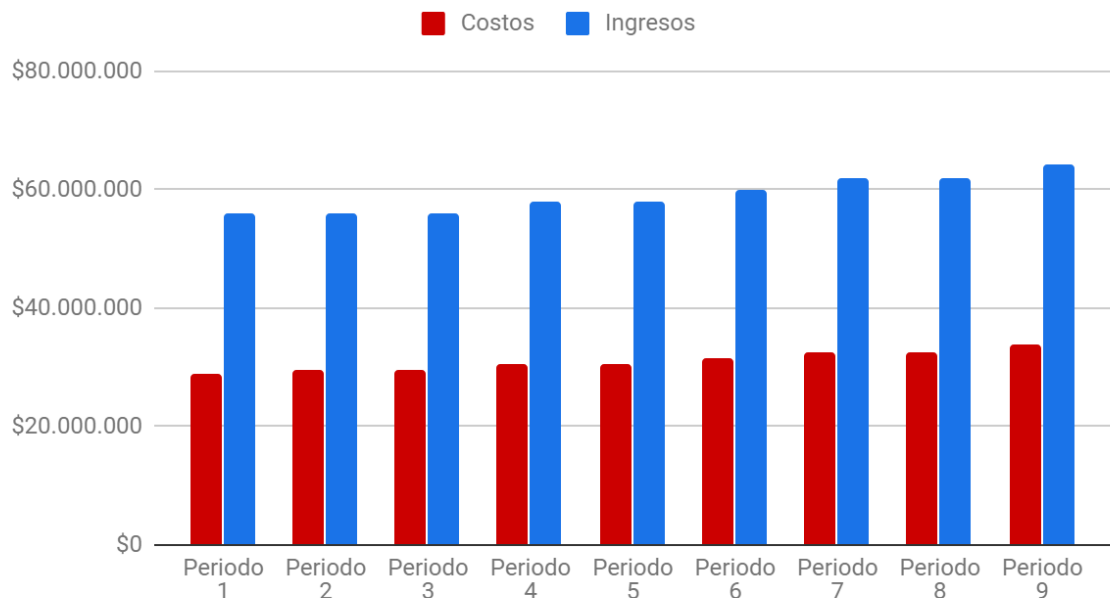
### 10.9.3.3 PROYECCIÓN A 5 AÑOS

Los costos de producción e ingresos aumentan conforme a las proyecciones de inflación, según datos extraídos del Banco de la República para el año 2019 sobre analistas de la asociación nacional de instituciones financieras (ANIF) quienes proyectan la inflación en 3,5% (ver Anexo 18).

Año	0,6	1,2	1,8	2,3	2,9	3,5	4,1	4,7
Cocepto	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6	Periodo 7	Periodo 8
Costos de producción	-\$28.730.956	-\$29.387.363	-\$29.387.363	-\$30.415.920	-\$30.415.920	-\$31.480.478	-\$32.582.294	-\$32.582.294
Ingresos por Ventas	\$55.935.000	\$55.935.000	\$55.935.000	\$57.892.725	\$57.892.725	\$59.918.970	\$62.016.134	\$62.016.134
Periodo de Recuperación	-\$19.863.837	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Bruta	\$7.340.207	\$26.547.637	\$26.547.637	\$27.476.805	\$27.476.805	\$28.438.493	\$29.433.840	\$29.433.840
Utilidad Neta	\$4.917.939	\$17.786.917	\$17.786.917	\$18.409.459	\$18.409.459	\$19.053.790	\$19.720.673	\$19.720.673

**Tabla 17** Proyección Financiera con la implementación de la propuesta., Fuente elaboración propia.

### Costos e Ingresos



**Ilustración 34** Grafico de Proyección Financiera con la implementación de la propuesta., Fuente elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla 17, en el primer periodo (que consta cada uno de 7 meses), con la proyección de los ingresos obtenidos se puede recuperar la inversión inicial, por lo que en los siguientes periodos serían ganancias netas en el ejercicio de la piscicultura en la finca.

#### 10.9.3.4 VALOR PRESENTE NETO (VPN)

Para poder calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR), se debe primero calcular el Valor Presente Neto, y para poder calcular este último se debe hallar el costo de capital mediante el método wacc (Anexo 19) que para este caso es de 19,7%. Con el flujo de efectivo del proyecto aplicando la fórmula del VPN se obtiene que:

Periodo	Flujo de Efectivo	Valor Presente	Tasa
0	- \$19.863.837	- \$19.863.837	19,7%
1	\$4.917.939	\$4.110.220	
2	\$17.786.917	\$12.424.092	
3	\$17.786.917	\$10.383.569	
4	\$18.409.459	\$8.981.916	
5	\$18.409.459	\$7.506.734	
6	\$19.053.790	\$6.493.418	
7	\$19.720.673	\$5.616.887	
8	\$19.720.673	\$4.694.374	
9	\$20.410.896	\$4.060.692	
	VPN manual	\$44.408.066	
	VPN excel	\$44.408.066	

**Tabla 18** Flujo de caja y cálculo de VPN., Fuente elaboración propia

El valor presente neto para este proyecto es mayor a 0 lo que quiere decir que el proyecto genera utilidades y produce valor en el tiempo. Ya con el cálculo del (VPN), se puede calcular la tasa interna de retorno que para este proyecto sería del 64% (ver ilustración 36).

VPN manual	\$44.408.066
VPN excel	\$44.408.066
TIR	64%

**Tabla 19** Cálculo de TIR, Fuente elaboración propia

Lo que significa que al ser una tasa interna de retorno mayor a 0 y un valor presente neto también mayor a 0, el proyecto se aceptaría en términos financieros.

#### 10.9.3.5 BENEFICIO / COSTO

Para el cálculo del beneficio/costo, se debe realizar la sumatoria de los ingresos, la sumatoria de los costos y la sumatoria de los costos con la inversión inicial, dando como resultado un beneficio/costo de 1,65, es decir que los beneficios son mayores a los costos y la inversión.

Beneficio / Costo	
$\Sigma$ ingresos	\$235.940.355
$\Sigma$ costo	\$123.410.725
$\Sigma$ cost+inv	\$143.274.562
B/C	1,65

**Tabla 20** Cálculo Beneficio/Costo, Fuente elaboración propia

### 10.9.3.6 PROYECCIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN LA PISCICULTURA

Con el sistema implementado, el área del estanque pasaría de 154 m<sup>3</sup> a 399 m<sup>3</sup> donde se cosecharán aproximadamente 11.300 peces, con un peso comercial cada uno de 0,45 kg, nos da un peso total de cosecha de 5.085 kg, y como se estima que el crecimiento de los peces sería más rápido, el tiempo para llegar a su peso comercial sería de 7 meses, lo que nos daría una productividad en piscicultura de:

$$\begin{aligned} \textit{Productividad en Piscicultura} &= \frac{5.085 \textit{ kg}}{399 \textit{ m}^3} \\ &= 1,820 \textit{ kg/m}^3 \textit{ /mes} \end{aligned}$$

Lo que quiere decir que se produce 1,820 kg de biomasa por metro cúbico del estanque al mes, siendo esto una mayor productividad que los 0,328 kg /m<sup>3</sup>/ mes del sistema actual en la finca. Esto representa una optimización en el proceso debido a que, como dice (Kubitza, 2016), la productividad piscícola no es solo aumentar la cantidad de peces que se cosechan, sino también poder cosechar los peces en menor tiempo, pero en este caso, teóricamente se podría aumentar la cantidad de peces cosechados y en un tiempo más corto.

## 11. CONCLUSIONES

- Por medio del diagnóstico del sistema actual implementado se determinó que se puede aprovechar el espacio de ambos estanques para aumentar el área disponible de los cultivos de peces.
- Mediante la caracterización de los requerimientos de un sistema piscícola tecnificado y el uso del Método de Análisis de Decisión con Criterios Múltiples, se determina que el sistema de aireación es el adecuado para cubrir las necesidades de la finca en su actividad piscícola, y de ahí se parte para hacer el desarrollo del diseño.
- Gracias a las mediciones fisicoquímicas que se realizaron al estanque, se determinó que el pH en el agua del estanque no es un problema para el buen desarrollo del metabolismo de los peces, y no afecta su crecimiento de forma negativa, lo que se traduce en un aporte a la productividad en la actividad piscícola.
- El sistema de aireación al ser un sistema relativamente sencillo para su operación puede dar empleo a las personas que residen actualmente en la finca y no tienen el nivel de escolaridad adecuado para operar sistemas más complejos.
- El diseño final del estanque no sólo optimizará el espacio disponible en la finca, sino que además se ajustaría a los requerimientos de la especie, en cuanto al correcto funcionamiento de su metabolismo, la oxigenación necesaria y reducción del estrés ya que se mejora la calidad del agua.

- La tecnificación del estanque aumentaría en gran medida la productividad del sistema piscícola, al pasar de una productividad global actual de 1,1 a una productividad de 1,9, lo que significa un aumento del 72%.
- El desarrollo del proyecto generaría ganancias a la finca, debido a que los indicadores financieros evaluados (TIR, VPN, Beneficio/Costo), sugieren que el proyecto es viable y generaría utilidades.
- La implementación del sistema aumentaría la productividad en la piscicultura de la finca, pasando de 0,328 kg por metro cúbico al mes a 1,820 kg por metro cúbico al mes, dando como resultado un aumento del 554%.

## 12. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la adquisición y uso de instrumentos de medición propios para el control más independiente de las condiciones del agua, para así lograr un óptimo metabolismo de los peces en el estanque.
- Se recomienda después de la implementación, la medición constante de los parámetros fisicoquímicos del estanque para determinar si las condiciones del agua permiten aumentar aún más la carga de peces por metro cúbico que se pueden cultivar en el sistema y lograr así mayores rendimientos productivos.
- Se recomienda el mantenimiento preventivo de los equipos, debido a que el fallo prolongado de algún componente del sistema compromete la integridad del cultivo y así los resultados productivos.
- Tener la oportunidad de uso de Simuladores en computadora sobre los sistemas acuícolas, sería una gran herramienta para el cálculo a tiempo real y más preciso sobre los parámetros físicos del estanque y lograr óptimos diseños con los recursos disponibles.
- Generar un sistema de medición y modificación de la cantidad de aire que bombea el blower al estanque, que se controle de manera automatizada para mantener unas condiciones ideales constantes en el estanque.
- Se recomienda realizar mediciones de metales pesados en el agua, debido a que en las zonas aledañas a la vereda existe actividad minera de extracción de esmeraldas y puede haber contaminación que afecte el metabolismo de los peces y la calidad de su carne.

### 13. REFERENCIAS

- Acuagranja (2016). Blowers Sweetwater. Bogota Colombia. ACUAGRANJA SAS.  
<http://acuagranja.com.co/producto/blower-sweetwater/>.
- AguasIndustriales. (2017). Sistemas de aireación: parrillas de difusores extraíbles vs elevables, 1–4.
- Alicorp. (2015). Manual de Crianza Tilapia.
- Alimentarius, C. del C. (2016). PROGRAMA CONJUNTO FAO/OMS SOBRE NORMAS ALIMENTARIAS COMITÉ DEL CODEX SOBRE CONTAMINANTES DE LOS ALIMENTO, 25–29.
- Arbeláez, M. C. (2011). Programa de Productividad y Competitividad Agropecuaria del Huila. Informe técnico y de gestión del sector piscícola. Informe Técnico Y de Gestión 2011, 62. <https://doi.org/http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/Plan-Nacional-para-el-Desarrollo-de-la-Acuicultura-Sostenible-Colombia.pdf>
- Arboleda, M. (2010). Estudio de la viabilidad del plan de negocios para un proyecto piscícola rentable en el valle del cauca. Retrieved from <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/economia/tesis158.pdf>
- Bacaicoa, R. C. (2009). SISTEMAS DE RECIRCULACIÓN. Observatorio Español de Acuicultura (Fundación OESA).
- Barreto-curiel, F., Durazo, E., & Viana, M. T. (2015). Growth, ammonium excretion, and oxygen consumption of hybrid red tilapia (*Oreochromis mossambicus* ×

Oreochromis aureus) grown in seawater and freshwater. Uabc, 41, 247–254.

Beltrán, C. E. (2013). Contribución De La Pesca Y La Acuicultura a La Seguridad Alimentaria Y El Ingreso Familiar En Centroamérica.

BIOAQUAFLOC. (2018). ¿Qué es Biofloc?, 1–15.

BIOAQUAFLOC. (2018). Ventajas y desventajas de la tecnología biofloc  
Explicación breve de qué es la tecnología biofloc  
Ventajas y desventajas de la tecnología biofloc  
Ventajas de la tecnología biofloc, 1–16.

Biofloc, A. (2017). a Biofloc: Una solución sustentable en los sistemas acuícolas.  
Sistemas Acuícolas, 1–4.

Bocek, A., Dirección Nacional de Recursos Acuáticos - Departamento de Acuicultura de Uruguay, & FAO. (2010). Manual básico de Piscicultura en estanques. *FAO Orientaciones Técnicas Para La Pesca Responsable.*, 5(4), 1–52.

Bru Cordero, S. B. (2016). Cultivo en suspensión activa (Bioflocs): una alternativa para la piscicultura urbana, 79. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/54396/>

Candarle, P. (2016). Técnicas de Acuaponia. Cenadac, 1–47.

CAR Cundinamarca. (2011). Información Compilada de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Disponibles y Aplicables al Proyecto. Retrieved from <https://www.car.gov.co/uploads/files/5aec916f61396.pdf>

Carvajal, J. P., Echeverri, Arturo, C., & Rúaless, D. (2014). Comparación de parámetros zootécnicos y de calidad de agua de tres sistemas de recría de tilapia roja (*Oreochromis spa.*) en el Municipio de Puerto Triunfo, 53. Retrieved from [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1511/1/Parametros\\_zootecnicos\\_calidad\\_agua\\_sistemas\\_precria\\_tilapia\\_roja.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1511/1/Parametros_zootecnicos_calidad_agua_sistemas_precria_tilapia_roja.pdf)

CENTA-FAO. (2016). Protección y captación de pequeñas fuentes de agua.

Claudia Merino, M., Patricia Bonilla, S., & Bages, F. (2013). Diagnóstico del estado de la Acuicultura en Colombia Profesional Especializado Dirección Técnica Administración y Fomento, AUNAP Secretaria Técnica Nacional-Cadena de la Acuicultura-MADR Gerente Público Acuicultura-Programa de Transformación Productiva Of. Retrieved from <http://aunap.gov.co/wp-content/uploads/2016/04/25-Diagnóstico-del-estado-de-la-acuicultura-en-Colombia.pdf>

Colado, M. (2004). Acerca del cultivo de tilapia nilotica y tilapia roja, 16.

Colciencias. (2016). Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo, 1–2.

Collazos-Lasso, L. F., & Arias-Castellanos, J. A. (2015). Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión. *Orinoquia*, 19(1), 77–86.

Córdoba, M & Monsalve, c (2009). TIPOS DE INVESTIGACIÓN: Predictiva, proyectiva, interactiva, confirmatoria y evaluativa, 139–140. Retrieved from [http://2633518-0.web-hosting.es/blog/didact\\_mate/9.Tipos de Investigación. Predictiva%2C Proyectiva%2C Interactiva%2C Confirmatoria y Evaluativa.pdf](http://2633518-0.web-hosting.es/blog/didact_mate/9.Tipos%20de%20Investigaci%C3%B3n.%20Predictiva%20Proyectiva%20Interactiva%20Confirmatoria%20y%20Evaluativa.pdf)

- Deus, R., Brito, D., Mateus, M., Kenov, I., Fornaro, A., Neves, R., & Alves, C. N. (2013). Impact evaluation of a pisciculture in the Tucuruí reservoir (Pará, Brazil) using a two-dimensional water quality model. *Journal of Hydrology*, 487, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.022>
- Dirección Nacional de Recursos Acuáticos - Departamento de Acuicultura de Uruguay. (2010). Manual básico de Piscicultura en estanques. FAO Orientaciones Técnicas Para La Pesca Responsable., 5(4), 1–52.
- FAO. (2006). TILAPIA: Pilas circulares de concreto, 9–11. Retrieved from <http://teca.fao.org/es/read/3828>
- FAO. (2009). Estado mundial de la pesca y acuicultura 2008, 218. Retrieved from <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0250s/i0250s02.pdf>
- FAO. (2010). Manual básico de Piscicultura en estanques. FAO Orientaciones Técnicas Para La Pesca Responsable., 5(4), 1–52.
- FAO. (2010). Visión general del sector acuícola nacional México.
- FAO. (2011). Atender la demanda creciente de pescado, 3–5.
- FAO. (2014). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Fao. <https://doi.org/978-92-5-308275-9> ISSN1020-5500
- FAO. (2016). 2. Mejora De La Calidad De Agua En Los Estanques, 1–65.

- FAO. (2016). Contribución a La Seguridad Alimentaria Y La Nutrición Para Todos. Fao. <https://doi.org/978-92-5-306675-9>
- FAO. (2016). El consumo mundial de pescado per cápita supera por primera vez los 20 kilogramos anuales.
- FAO. (2016). Resumen El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos, 34(7), 23. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5798s.pdf>
- Franco Gomez, C. M. (2013). Los metodos sustentables de piscicultura. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Fimaq (2016). Blowers Premium Nacionales. Medellín Colombia. *FIMAQ-INC*. <http://fimaq-inc.com/blowers/blowers-nacionales/>.
- Fino Arboleda, A. C. (2009). Estudio de factibilidad para la creación de una empresa de producción y comercialización de chorizos elaborados a partir de carne de tilapia con fines de exportación al mercado de los estados unidos. *Universidad de Duitama*, (2009).
- Fluence. (2016). ¿Qué es la Aireación con Oxígeno Puro? Fluencecorp, 1–6. Retrieved from <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-la-aireacion-con-oxigeno-puro/>
- Forero, N. M., Gutiérrez, S., Sandoval, R. L., Camacho-Tamayo, J. H., & Meneses, M. A. (2014). Postharvest evaluation of lulo characteristics covered with banana leaf. *Revista Temas Agrarios*, 19, 75–87.

- Gamboa, V. (2014). Sistemas de recirculación de agua (RAS) en Piscicultura. *Sistema Institucional de Gestión de Revistas Académicas*, (12), 7.
- Gallardo, M., Ortega, R., Mangas, E., & Arriaga, B. (2017). Diagnóstico de la operación de 10 granjas trutícolas y sus impactos en el medio natural (Detección de amenazas y alternativas de respuesta de las mismas)., 1–56.
- García Bernal, A. M., Gil Ariza, S. N., & Florez Rincón, L. C. (2016). Biocomercio: una práctica empresarial en el cultivo y exportación de la tilapia roja para mejorar el sector piscícola en Colombia, caso de estudio en el departamento del Huila 2005- 2013. Adriana. *Universidad de La Salle*. Retrieved from [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18733/63111131\\_2016.pdf?sequence=1](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18733/63111131_2016.pdf?sequence=1)
- Gobernación de Boyacá. (2017). Gobernación de Boyacá se enfoca en la atracción de inversión.
- Gómez, C., & De León, Eida. (2014). Método comparativo. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) (Monterrey, México).
- Gutiérrez, M. (2016). TECNIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN LA GRANJA DE LA ASOCIACIÓN DE USUARIOS CAMPESINOS DEL MUNICIPIO DE SAN ESTANISLAO DE KOSTKA. *IOSR Journal of Economics and Finance*, 3(1), 56. <https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-b-000238666>

- HAHN-VON-HESSBERG, C.M. & GRAJALES-QUINTERO A., (2016). - Evaluación de invernaderos en producciones piscícolas. Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas, 20 (2): 124-137. DOI: 10.17151/bccm.2016.20.2.9
- Hedley, C., & Huntington, T. (2009). Restricciones legales y reglamentarias de la acuicultura europea.
- Heredia, A. P., Guzmán, K. S., & Gómez Herrera, L. F. (2015). ESTRATEGIAS DE INTERNACIONALIZACIÓN PARA EL SECTOR PISCÍCOLA DEL DEPARTAMENTO ATLÁNTICO DE COLOMBIA HACIA ALEMANIA.
- Hernández, A. (2014). Sistemas Naturales de Alta Velocidad. Sistema Escalonado de Aireación. Escuela Internacional De Ingeniería Del Agua.
- Hernández, E. del Á. (2014). Hidrodinámica. Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo.  
[http://www.agroindustria.gob.ar/site/pesca/acuicultura/01=cultivos/03-otros\\_sistemas/\\_archivos/000003-Sistemas](http://www.agroindustria.gob.ar/site/pesca/acuicultura/01=cultivos/03-otros_sistemas/_archivos/000003-Sistemas)
- IDM. (2015). Turbina de aireación. Ingeniería de Medios Del Pirineo, 1–2. Retrieved from <http://www.idm-pirineo.es/IDM/Esp/MA/turbina-de-aireacion.php>
- International Aquafeed. (2014). RAS – Sistemas de Recirculación Acuícola, 1–6. Retrieved from <http://www.aquafeed.co/ras-sistemas-de-recirculacion-acuicola/>
- Iñiguez, C. (2005). Comparación del crecimiento y supervivencia de alevines de tres líneas de tilapia con dos patrones de temperatura Comparación del

crecimiento y supervivencia de alevines de tres líneas de tilapia con dos patrones de temperatura. Zamorano.

Israel, G., & Solórzano, M. (2016). LOS FUNDAMENTOS PARA UNA PRODUCCIÓN SEGURA DE PECES EN ESTANQUES: conceptos de biomasa y seguridad y económica, 25(1976), 2–3.

KAMPS. (2014). Rendimiento de aireación. Water-Aerator, 2–3. Retrieved from <http://www.water-aerator.com/es/aireador-de-superficie/turbina-lenta-airmax/rendimiento-de-aireacion.html>

Kubitza, F. (2016). LOS FUNDAMENTOS PARA UNA PRODUCCIÓN SEGURA DE PECES EN ESTANQUES: conceptos de biomasa y seguridad y económica, 25(1976), 2–3.

Lasso, L. F. C., & Castellanos, J. A. A. (2012). Aspectos Técnicos Cruciales de la Tecnología Biofloc-TBF, para la Producción Intensiva en Piscicultura. Universidad de Los Llanos. Villavicencio - Meta, Colombia.

León Moreno, P. A., & Andrade Moreno, A. F. (2016). Cuantificación de la carga contaminante en función de la biomasa para tres sistemas productivos representativos de trucha arco iris, en la región de Boyacá.

Linde. (2011). Soluciones de oxigenación para la acuicultura.

Marco, A. (2010). Acuerdo De Competitividad De La Cadena De La Piscicultura En Colombia, 1–43. Retrieved from <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/004 - Documentos Competitividad Cadena/004 - D.C. - Acuerdo de Competitividad de la Cadena de la Piscicultura en Colombia.pdf>

- Martínez, C., & Valencia, L. (2013). Viabilidad y factibilidad de una empresa piscícola en el municipio de Dosquebradas, Risaralda. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Merino, M. C., Restrepo, J., Narváez, A., Polo, C., Plata, J., & Puentes, V. (2014). VI. 3. La captura de peces ornamentales. Ministerio de Agricultura Y Desarrollo Rural, 2da Parte, 44–94.
- Monja, M. B. L., & Mejía, C. C. (2016). Bioflocs: Tendencia en la producción acuícola sustentable. LAQUA19.
- Nicovita. (2015). Manual de Crianza Tilapia. Industria Acuícola.
- Rivarola, E. D. B. (2011). Manual Básico de Piscicultura para Paraguay, 1–52.
- Ochoa, S. (2010). Plan De Negocios Para La Creación Cultivo De Piscicultura En Granjas El Mölinero.
- Ortiz, C., Mendoza, P., Zayas, R., Flores, I., Álvarez, L., Pérez, P., & Hernández, G. (2013). Prototipo piscícola de control y automatización de 4 variables.
- Oxystream, S. (2011). Innovative aquaculture products and solutions. Linde-Gas
- Pasco, J. M. (2015). Piscicultura y Aireación. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- Peña Suarez, A. D., & Rodriguez Vizcaino, J. M. (2011). Creación y Puesta en Marcha de una Granja Piscícola Productora de Tilapia Roja en el

- Ríos, R. (2012). Cartilla práctica para el cultivo de la Tilapia. ARAP, 31.
- Salazar, J. (2011). Creación de una empresa para la cría, engorde y comercialización de cachama y tilapia en la región de san gil, 1–83.
- Sarmiento, P. E. (2013). ACUICULTURA.
- Sarmiento, P. E. (2013). ACUICULTURA.
- Stefan, D. (2012). Nueva tecnología de oxigenación a punto de transformar la acuicultura mundial | Aquafeed, 1–8. Retrieved from
- Salazar, R. (2000). Tratamiento de Aguas Residuales en Acuicultura. Documento de Diseño y Construcción, 48.
- Simón Andreu, P., Lardín Mifsut, C., del Cacho Sanz, C., & García Yuste, M. (2015). Transferencia de oxígeno: evaluación rápida de la eficiencia de los sistemas de aireación. Tecnoaqua, 15, 92–101.
- Toledo-Pérez, J. S., & García-Capote, M. C. (2000). Nutrición y Alimentación de Tilapia Cultivada en América Latina y el Caribe. Avances En Nutrición Acuícola IV, (537), 83–137.
- Treatment, W., & Development, A. (2011). Linde lanzó tecnología para mejorar la oxigenación en pisciculturas de recirculación, 3–4.

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro and UFSC. (2009). Aquecedor solar composto de produtos descartáveis manual de construção e instalação | 1. Celesc.

Universidad De Salamanca. (2010). Difusores, 1–16.

Valbuena Rubiano, A. J. (2014). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA GRANJA PISCÍCOLA, EN EL MUNICIPIO DE ALBÁN, DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA. UNIVERSIDAD DE LA SALLE.

Vásquez, L. (2017). Huevos y Larvas en el ciclo de vida de los peces. Ecofronteras, vol. 21, núm. 59, pp. 17-18.

Villanueva, L., & Ortiz, A. (2019). DIAGNOSTICO EMPRESARIAL Y PLAN DE MEJORAMIENTO PARA LA GRANJA PISCÍCOLA EL CARMEN.