

**DISEÑO PARTICIPATIVO DE ESTRATEGIAS INTEGRALES PARA PREVENIR Y
MITIGAR LA CONTAMINACIÓN CAUSADA POR LA PRODUCCIÓN DE LA
TRUCHA ARCOIRIS EN LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO PIENDAMÓ,
MUNICIPIO DE SILVIA, CAUCA**

JULIÁN EDUARDO GUACHETÁ CEBALLOS

**Trabajo de grado para optar por el título de Magister en Gestión Integrada de los
Recursos Hídricos**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE.
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
SANTIAGO DE CALI**

2023

**DISEÑO PARTICIPATIVO DE ESTRATEGIAS INTEGRALES PARA PREVENIR Y
MITIGAR LA CONTAMINACIÓN CAUSADA POR LA PRODUCCIÓN DE LA
TRUCHA ARCOIRIS EN LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO PIENDAMÓ,
MUNICIPIO DE SILVIA, CAUCA**

JULIÁN EDUARDO GUACHETÁ CEBALLOS

Código: 202100844

INÉS RESTREPO TARQUINO MSc., PhD

DIRECTORA

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE.
MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
SANTIAGO DE CALI**

2023

NOTA DE APROBACIÓN

FIRMA DIRECTORA

FIRMA JURADO 1

FIRMA JURADO 2

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a la Madre Naturaleza, aquella que nos brinda día a día su amor de diversas maneras y con los matices que la caracterizan, pero a quien como humanidad le hemos respondido con el olvido, desagrado y voracidad por explotar todo lo ofrecido.

También a mi Familia, Esposa e Hijos, Padres, Hermanos y Sobrinos, quienes siempre me han deseado lo mejor con el propósito de asumir con firmeza, y la Fé puesta en Dios, aquellas aventuras que he emprendido y que, además, me motivan de manera permanente pese a los contratiempos y dificultades que se presentan día tras día en nuestras vidas.

¡Para ellos, todo el amor!

AGRADECIMIENTOS

En principio agradecer a *Dios* quien es el Ser Supremo que posibilita nuestro relacionamiento con la Madre Naturaleza, con el Cosmos y con todas las formas de vida existentes.

Agradecer también a mis *Padres*, Manuel y Adelina, por su orientación a lo largo de los años, pues es por ellos que he sido gentes de resistir y de asumir los compromisos y desafíos de la vida.

A mi *Familia*, a mis *hijos* Manuel José y Sofía, y a mi *esposa* Mercedes, Alcaldesa actual del Municipio de Silvia, Cauca y lideresa social en nuestro amado país, Colombia.

A mis queridos y estimados docentes de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad del Valle, quienes con su conocimiento y liderazgo de región asumen con entereza los retos y desafíos por proteger los recursos naturales, entre ellos el agua, fuente de vida.

A mi directora del proyecto de profundización, a mi querida y estimada docente Inés Restrepo, una persona de mucha trayectoria en temas de planificación, conservación y protección del recurso hídrico. Mil y mil gracias mi Profe.

Al PhD. Javier Hernández, docente de la Universidad del Cauca, quien me brindó su apoyo incondicional y quien además me compartió su enorme conocimiento en materia de la piscicultura.

Y por último agradecer a todas las personas que compartieron conmigo el espacio de la maestría, unos profesionales muy comprometidos y con quienes compartí momentos buenos y algunos regulares. A todos ellos desearles los mejor...

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la definición de estrategias integrales construidas en comunidad con el ánimo de planificar acciones en pro de la conservación y la protección de la subcuenca hídrica Río Piendamó, una de las fuentes de agua más importante del Departamento del Cauca.

En este trabajo se evalúan las condiciones actuales de la subcuenca hídrica Río Piendamó en la zona alta de paramo, particularmente sobre aquellas que están relacionadas con la contaminación hídrica asociada a la producción piscícola, particularmente por la producción de la trucha.

El estudio se llevó a cabo a la altura del Resguardo Indígena Ancestral Misak o Guambiano, comunidad presente en el Municipio de Silvia Cauca que se dedica a cultivar la trucha desde hace más de 20 años como parte de su economía interna, posibilitando mejores condiciones de vida a su población.

Los principales resultados obtenidos en el presente estudio conllevan a la necesidad de incorporar buenas prácticas para la producción de la trucha, pues las cargas contaminantes puestas sobre el cuerpo hídrico y que son provenientes de los lodos generados debido la concentración de las heces fecales y la orina de los peces, además del alimento no consumido por los mismos, aportan cargas contaminantes de DBO₅, sólidos suspendidos totales (SST), fósforo (P) y nitrógeno (N) a razón del 13.8, 59.1, 3.7 y 4.4 toneladas - mes respectivamente, sobre el río Piendamó

Palabras claves: Autoridad Ancestral Misak, Subcuenca hídrica Río Piendamó, Producción de la trucha, Contaminación Hídrica.

ABSTRACT

The work present is based about integrality strategies building with the indigenous community looking for a plan by the protection and conservation of the River Piendamó, one of the most important in the Cauca Department.

In this work have been analyzed the actuality conditions of the River Piendamó in the paramo zone, particularity about which are linked to the hydric contamination associate with the trout fish production.

The analyzed topic has been in the Misak Community, people dedicated to the trout fish production for 20 years old as a strategy economic intern for possibility better conditions for his people.

The main results founded in this work entail to solve those issues through better practices for the fish production because the contaminated loads arrived on the river are being by the sludges due to the trout rest moreover of the food without to eat. The loads are oxygen demanded biologic, total suspended solids, phosporo and nitrogen a rate of 13.8, 59.1, 3.7 y 4.4 tons - month in the Piendamo river.

Key Words: Ancestral Misak Community, Hydric River Piendamó, fish production, Hydric Polution.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
2.1 Localización.....	2
2.3 Pregunta de investigación	5
2.4 Hipótesis	5
3. JUSTIFICACIÓN.....	6
4. ESTADO DEL ARTE	7
3.1 Generalidades.....	7
3.2 Parámetros fisicoquímicos de importancia en la producción de trucha.....	9
3.3 Alimentación y crecimiento.....	10
3.4 Fuentes de contaminación sólida al interior del estanque.....	12
3.5 Factores fisicoquímicos alterados por el cultivo de trucha.....	12
3.6 Consecuencias de un equivocado manejo del cultivo.....	19
3.7 Estado de la técnica para la prevención o mitigación de la contaminación asociada a la producción de la trucha arcoíris.....	21
3.7.1 Caracterización de los efluentes de estanques piscícolas de trucha: uso del recurso hídrico.....	22
3.7.2 Control de la contaminación con base en mejores prácticas disponibles	27
3.8. Configuración de los sistemas productivos. Ventajas y desventajas	34
3.9. Marco Regulatorio y Normativo	35
3.10. Elementos de la planificación	42
5. OBJETIVOS	50

5.1.	Objetivo General.....	50
5.2.	Objetivos Específicos	50
6.	METODOLOGIA.....	51
7.	RESULTADOS	60
7.1.	Resultados del Objetivo 1	60
7.1.1.	Identificación del Territorio.....	60
7.1.1.1.	Recorridos en la zona de estudio	60
7.1.1.2.	Definición de la muestra.....	62
7.1.1.3.	Desarrollo cartográfico	62
7.2.	Resultados del Objetivo 2	64
7.2.1.	Caracterización de la contaminación asociada al cultivo de la trucha	64
7.2.1.1.	Información personal de las familias.....	64
7.2.1.2.	Actividad económica de las familias	65
7.2.1.3.	Información general sobre el cultivo de trucha	66
7.2.1.4.	Análisis preliminar.....	71
7.2.1.5.	Caracterización de los focos de contaminación	72
7.3.	Resultados del Objetivo 3	77
7.3.1	Sensibilización con la comunidad en lo referente a las causas de la contaminación.....	77
7.3.2	Definición de políticas y estrategias para la protección del río	79
8.	DISCUSION DE RESULTADOS.....	84
9.	CONCLUSIONES.....	87
10.	RECOMENDACIONES	88
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

Lista de Tablas

Tabla 1 Composición del alimento de la trucha	11
Tabla 2. Normatividad referida al permiso por concesión y vertimientos de agua.	37
Tabla 3 Cronograma de recorridos	51
Tabla 4 Parámetros de calidad medidos en 10 estaciones piscícolas del Cauca	57
Tabla 5 Parámetros de la producción piscícola en el Resguardo Indígena de Guambia	60
Tabla 6 Parámetros para la obtención de la muestra estadística.....	62
Tabla 7 Características de 10 estaciones piscícolas de trucha del Depto. del Cauca	72
Tabla 8 Parámetros de calidad del agua 10 estaciones piscícolas del Depto. del Cauca.....	73
Tabla 9 Cálculo de valores medios de los parámetros de la calidad del agua.....	73
Tabla 10 Determinación del Caudal Requerido (Qr)	75
Tabla 11 Caracterización de cargas contaminantes en función del caudal (Qr).....	76
Tabla 12 Resultados por parámetro contaminante	84
Tabla 13 Acciones o estrategias concertadas para la protección del río Piendamó	85

Lista de Figuras

Figura 1 Ubicación geográfica población Indígena Misak Departamento del Cauca.	2
Figura 2 Mapa hídrico del territorio de Guambia.....	3
Figura 3 Subcuenca hídrica río Piendamó a la altura del Resguardo Indígena de Guambia, Municipio de Silvia, Cauca	4
Figura 4 Ciclo del Nitrógeno	18
Figura 5. Pasos normativos para la formalización de la actividad piscícola en Colombia.	36
Figura 6. Pasos para la formalización de la producción piscícola primaria.	37
Figura 7 Zona alta del Territorio de Guambia, Silvia (Cauca).....	52
Figura 8. Formato de encuesta.....	54
Figura 9 Talleres comunitarios	55
Figura 10 Esquema metodológico	59
Figura 11 Tecnología actual utilizada en las piscifactorías de la zona en estudio	61
Figura 12 Limitación de espacios para la producción piscícola.....	61
Figura 13 Distribución espacial de las estaciones piscícolas	63

Figura 14 Distribución de la contaminación hídrica asociada al cultivo piscícola	64
Figura 15 Balance de Masa en función de las concentraciones de Oxígeno	74
Figura 16. Proceso de participación comunitaria	80
Figura 17. Iniciativas ambientales de reforestación del páramo. Silvia, Cauca	81
Figura 18. Planta de transformación para concentrados para trucha. Silvia, Cauca.....	82
Figura 19. Proceso de transformación para la preparación de alimento para truchas	82
Figura 20. Actores estratégicos para la planificación.....	83

Lista de Gráficos

Gráfico 1 Composición familiar de los productores piscícolas.....	65
Gráfico 2 Actividad económica de las familias encuestadas.....	65
Gráfico 3 Resultados porcentuales sobre la rentabilidad del cultivo	66
Gráfico 4 Materiales utilizados para la construcción de las piscifactorías.....	66
Gráfico 5 Número de estanques usados por estación piscícola.	67
Gráfico 6 Producción de peces por estación piscícola	67
Gráfico 7 Agua utilizada por estación piscícola	68
Gráfico 8 Principales enfermedades presentes en los peces de la zona en estudio	68
Gráfico 9 Principales causas de la contaminación hídrica	69
Gráfico 10 Descenso del oxígeno disuelto versus días sin extracción de los lodos	70
Gráfico 11 Retención de sólidos y lodos en las estaciones piscícolas.....	70
Gráfico 12 Descarga del agua residual sobre el río Piendamó	71
Gráfico 13 Interés comunitario respecto al medio ambiente.....	77
Gráfico 14 Necesidad de cuidar las fuentes hídricas	78
Gráfico 15 Conocimiento comunitario sobre el reciclaje	78
Gráfico 16 Disposición de participación en actividades de gestión ambiental	79

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación de las fuentes hídricas superficiales es el resultado de actividades económicas, domésticas, industriales y agroindustriales desarrolladas por las poblaciones; según Roquet (2021) “Las causas de la contaminación del agua van desde los desechos industriales y domésticos hasta el uso de pesticidas en la agricultura, pasando por los derrames de petróleo u otras sustancias tóxicas, la deforestación o el aumento de las temperaturas.” Los factores antrópicos han impactado de forma negativa en los ecosistemas naturales, en gran medida por la expansión de la frontera agrícola y la deforestación de las zonas estratégicas, principalmente sobre las zonas de páramo, ecosistemas que regulan el recurso hídrico necesario para la vida.

Para el caso del municipio de Silvia, localizado en el Departamento del Cauca, es en la zona alta donde se presenta un alto grado de contaminación hídrica, y la más afectada es la subcuenca del río Piendamó, en gran medida, debido al desarrollo de proyectos truchícolas, cultivos de papa y fresa, además del vertimiento directo de las aguas residuales provenientes del centro poblado y de un porcentaje considerable de la población rural, entre ellos el pueblo Misak o Guambiano.

En vista de tal problemática, las autoridades locales han considerado unificar esfuerzos necesarios y suficientes para la recuperación ambiental de este río, puesto que el mismo brinda a la comunidad y a las poblaciones aledañas la posibilidad de un entorno sano y de equilibrio natural, y las consecuencias de no abordar la situación actual conllevaría a la eutrofización de la fuente hídrica y al deterioro ambiental de los ecosistemas de páramo en la zona alta del Municipio de Silvia, Cauca.

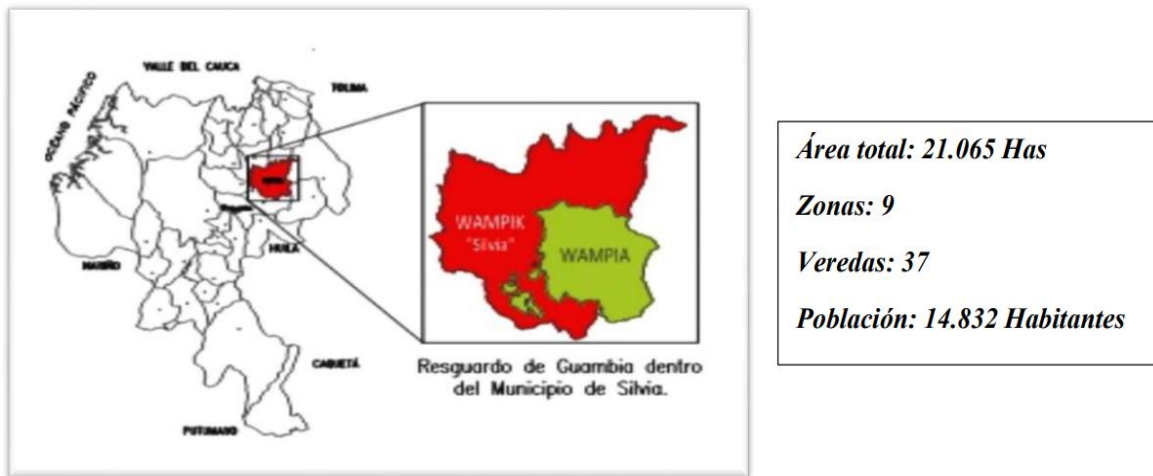
En este sentido, esta iniciativa hace parte de la estrategia de gobierno que está articulada con el plan de gobierno de la alcaldía municipal “*Mujer, hilando Gobierno para la Vida*” (2020 – 2023), el cual está dentro del componente de medio ambiente. Por otro lado, esta iniciativa académica se adelantará con el acompañamiento de la autoridad ancestral del Pueblo Misak, entidad territorial con reconocimiento legal en la Constitución Política de Colombia (Constitución Política de 1991).

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Localización

La subcuenca del río Piendamó nace en el páramo Las Delicias, jurisdicción territorial de la comunidad Misak, población indígena que se encuentra ubicada en el Municipio de Silvia, Cauca y cuenta con una población aproximada de 15.000 habitantes. Ver Figura 1.

Figura 1 Ubicación geográfica población Indígena Misak Departamento del Cauca.



Fuente: Programa Crianza del Territorio o Plan Ambiental, Cabildo Indígena de Guambia (2011)

Actualmente en la zona alta de páramo la comunidad Indígena del Pueblo Misak (Guambiano) ha venido implementado estaciones piscícolas para la producción comercial de la trucha arcoíris (*Oncomyzus mykiss*) desde hace más de 20 años.

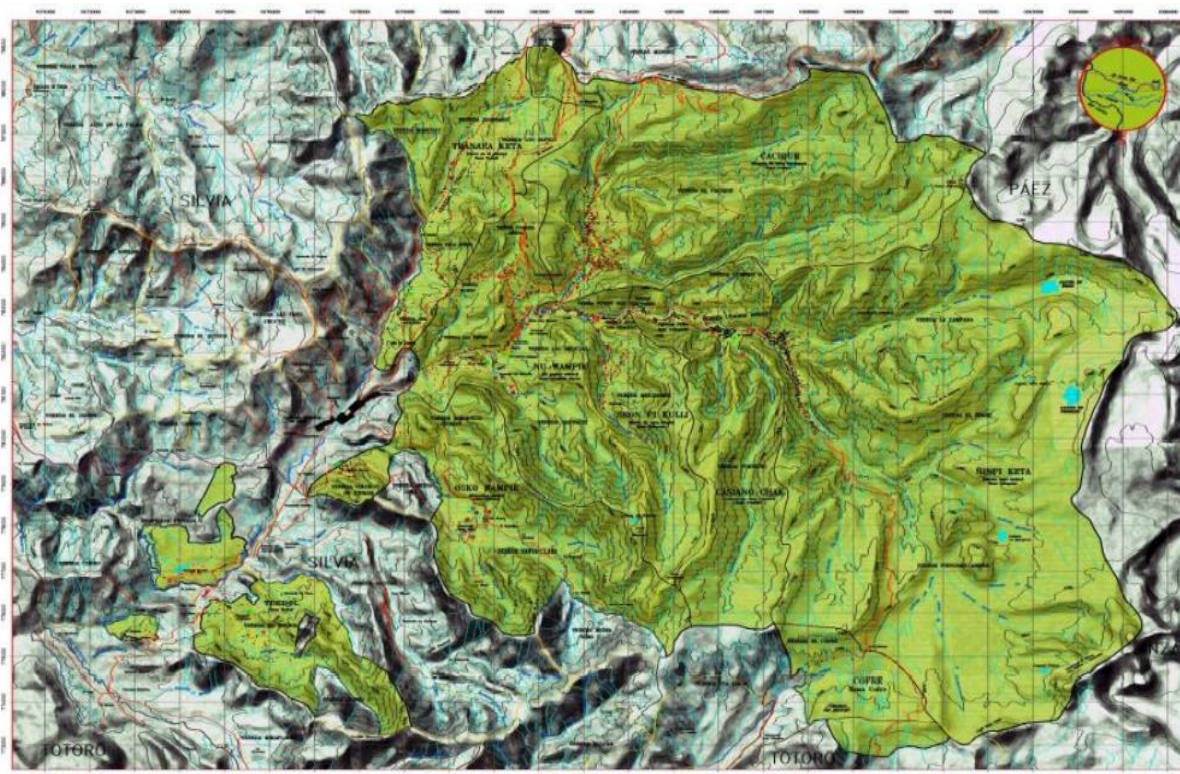
Estas iniciativas socio empresariales a través del tiempo han conllevado a la sobreexplotación del producto en mención y a una deficiente gestión en el uso del recurso hídrico para tal propósito, razón por la cual se afecta el equilibrio ambiental de la subcuenca, entre ellas la eutrofización a lo largo de su cauce natural.

Dicha problemática se asocia a la generación de los lodos procedentes de la producción piscícola provocados por los residuos del alimento no consumido cuya base es fósforo y nitrógeno, químicos para el control de enfermedades, heces fecales y orina de los peces. Estos lodos, al ser generados son descargados de forma directa sobre el cuerpo hídrico causando la eutrofización. Por esta razón y de acuerdo a Soto y Norabuena (2004), citados por Molina

(2021), la acumulación del fósforo se emplea como indicador de contaminación al igual que se utilizan los niveles de concentración de amonio, compuesto nitrogenado producto de la excreción de los peces (Troell *et al.* 1997).

Tradicionalmente la población Misak se ha dedicado a desarrollar actividades económicas como son la agricultura, ganadería y artesanías, siendo hoy por hoy la piscicultura una de las más fuertes, y para consolidar estas iniciativas de índole económica y social la comunidad demanda grandes cantidades del agua que nace de las fuentes hídricas presentes en el territorio. Ver Figura 2.

Figura 2 Mapa hídrico del territorio de Guambia



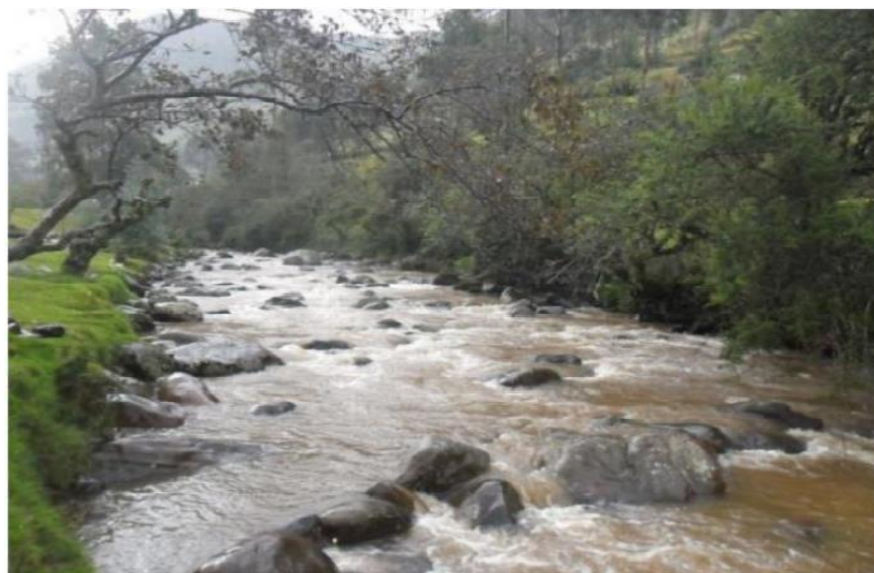
Fuente: Programa Crianza del Territorio o Plan Ambiental, Cabildo Indígena de Guambia (2011)

De acuerdo con estudios realizados por Galvis (2000), bajo este modelo de desarrollo económico, la calidad del agua se ve afectada pues la contaminación de las fuentes hídricas se presenta de diversas maneras. Por ejemplo: aguas residuales domésticas, desechos biológicos de las piscifactorías, descarga de lixiviados por la producción de fresa y la

presencia de agrotóxicos provenientes de la producción de papa mediante el proceso de natural de la esorrentía.

Como se nota, estas afectaciones a la calidad del agua son mayores en el río Piendamó, el cual nace en el páramo Las Delicias, zona alta que se encuentra a los 3600 m.s.n.m. del territorio Indígena de Guambia. Ver Figura 3.

Figura 3 Subcuenca hídrica río Piendamó a la altura del Resguardo Indígena de Guambia, Municipio de Silvia, Cauca



Fuente: Caracterización Ambiental del Recurso Hídrico en el Resguardo Indígena de Guambia (2018)

Además, en la actualidad la subcuenca hídrica se ve afectada por la constante contaminación de las aguas residuales que le son arrojadas por las poblaciones urbanas y rurales de los municipios de Silvia, Piendamó, Morales y Cajibío. En lo que respecta a la parte alta de la subcuenca, ésta se ve afectada por las vertientes de agua residual provenientes de la actividad piscícola que se desarrolla en el municipio de Silvia.

En este sentido, una de las actividades económicas de mayor importancia para el pueblo indígena Misak es la producción de la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y que de acuerdo con Pérez (2018), existen 120 granjas productoras y 600 estanques en uso en el resguardo indígena de Guambia.

Sumado a la situación anterior, las aguas de escorrentía que llegan al cuerpo de agua son contaminadas a causa de la actividad agrícola, especialmente por la producción de cultivos como papa y fresa en donde se utilizan agroquímicos altamente tóxicos y de manera excesiva, provocando daño irreparable a la capa vegetal de los suelos.

Otro aspecto que hace parte de la problemática en mención está ligada a la deficiente gestión y mal manejo de los residuos sólidos, ya que son arrojados al cuerpo de agua en forma irresponsable por visitantes y por personas de la región que no tienen conciencia del impacto negativo que se genera, además de las prácticas deficientes silvopastoriles que hay en la región puesto que se contaminan las microcuencas con la materia orgánica que proviene de los animales domésticos.

Un factor determinante en el grado de afectación que posee el cuerpo de agua redundaba en la necesidad de planificar adecuadamente el territorio puesto que las familias construyen viviendas y desarrollan infraestructuras para la producción piscícola a escasos metros del cauce natural. Tal es el grado de afectación, que en los últimos años la población se ha visto expuesta a las crecientes y al desbordamiento del río, provocando inundaciones que causan daños materiales, pérdida de animales y cultivos, desestabilidad económica y social para las familias, entre otros muchos aspectos que se podrían evitar mediante una gestión integral del recurso hídrico.

2.3 Pregunta de investigación

¿Cuáles son las estrategias integrales que conllevan a prevenir y mitigar la contaminación provocada por la producción de la trucha arcoíris en la subcuenca hídrica río Piendamó del municipio de Silvia, Cauca?

2.4 Hipótesis

El diseño participativo de estrategias integrales conlleva a la prevención y mitigación de los efectos que causan la contaminación del río Piendamó del Municipio de Silvia, Cauca.

3. JUSTIFICACIÓN

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico establece como principio que el agua es un bien público administrado por el Estado para satisfacer las necesidades básicas, además, determina que el consumo humano del agua será prioritario sobre los demás usos, bajo los principios de la gestión del agua como integralidad y diversidad, ahorro y uso eficiente y la participación y la equidad (Contraloría General de la República, 2012).

Pese a que Colombia es el sexto país con mayor oferta hídrica en el mundo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible calcula que la mitad de estos recursos tienen problemas de calidad. Según el Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en Colombia, elaborado con el apoyo de la Asociación Mundial del Agua y la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), los sectores que más contribuyen al deterioro del agua y al incremento constante de la contaminación en el país son: agropecuario, industrial y doméstico (Instituto Alexander Von Humbolt, 2011).

Así como existe una demanda hídrica para satisfacer necesidades básicas de las poblaciones también existe la necesidad de desechar el agua después de ser usada de diferentes formas y, generalmente, se hace a través de los cuerpos de agua más cercanos. La carga orgánica biodegradable total generada en Colombia durante el 2008 por sectores, industrial y cafetero se estimó en 819.235 toneladas, pero se vertieron a los sistemas hídricos 729.300 toneladas, que equivalen a 2.026 toneladas por día aun teniendo en cuenta que se removió el 11% de la de las aguas residuales. Sin embargo, son cifras alarmantes debido a los efectos negativos ocasionados sobre las fuentes receptoras (Rengifo y Ordoñez, 2014).

Por lo anterior, se considera importante llevar a cabo esta iniciativa académica, ya que permitirá que las autoridades locales (Alcaldía Municipal y Autoridades Indígenas) asuman con mayor compromiso la gestión del recurso hídrico, y así poder dar respuesta efectiva a las necesidades medioambientales del contexto local y regional, además de los impactos positivos en la calidad de vida de las poblaciones aledañas a la subcuenca hídrica y de la planificación territorial.

4. ESTADO DEL ARTE

3.1 Generalidades

En Colombia, la acuicultura de agua dulce inicia en 1939, con la introducción de la trucha arcoíris (*Oncomyzcus mykiss*) en el Lago de Tota y después en el embalse de Neusa (Brenner y Referat, 1994) con fines deportivos, posteriormente por su aceptación en el mercado, se constituyó en un pez de cultivo (Espinal *et al.*, 2005), creándose la primera estación truchícola en el año 1939 en las Cintas (Lago Tota) y posteriormente la Estación de Los Pozos (Boyacá) en 1942, convirtiéndose en proveedores importantes de alevinos en la región (SIPA, 2009, citado por Penagos y Cepeda, 2011).

La actividad acuícola está comprendida por el cultivo de peces, repoblamiento en cuerpos de aguas naturales y artificiales, cultivo de mariscos y crustáceos. Una rama importante de la acuicultura es la piscicultura cuyo objetivo es el cultivo racional de los peces, comprendiendo particularmente el control de su crecimiento y su reproducción, además vigila y regula la multiplicación, alimentación y el crecimiento de los peces, lo que se realiza en estanques naturales o artificiales y en jaulas (Espinoza, 2004). En el país, la piscicultura está comprendida por tres especies importantes de cultivo las cuales son tilapia, cachama y trucha que para el primer semestre del año 2010 reportan 16.105, 4.399 y 1.588 Ton respectivamente, alcanzando el 84% del total de la producción acuícola nacional (MADR *et al.*, 2010).

La trucha arcoíris es un pez teleósteo perteneciente a la familia Salmonidae y género *Oncorhynchus*, nativo de California, Estados Unidos (Aquino, 2008); esta especie es de forma alargada con una longitud que varía entre 30 y 50 cm, presentando el dorso grisáceo azulado, los lados con franjas rojizas ó anaranjadas con puntos negros o rojos y manchas en las aletas (Camacho *et al.*, 2000). En su hábitat natural es depredador de otras especies, siendo netamente carnívoro (Kim, 1997). Para un óptimo desarrollo de los cultivos de trucha se requiere de agua con condiciones físico químicas determinadas, es decir, con valores de pH, temperatura y concentraciones de oxígeno disuelto específicos ya definidos (Camacho *et al.*, 2000).

Los principales departamentos que practican la piscicultura en Colombia corresponden a los de la región Andina (Antioquia, Huila, Cundinamarca, Boyacá, Caldas, Meta, Santander) y en menor cuantía en las regiones Amazonía y Orinoquía (Amazonas y Casanare). También se presenta en algunos departamentos de las regiones Caribe y Pacífico (Córdoba, Bolívar, Magdalena, Valle del Cauca, Cauca, Nariño, Chocó). El medio productivo más utilizado es el estanque con el 65.4%, mientras que las jaulas o jaulones representa el 34.6%. En este sentido, la producción de trucha se realiza en un 73% en estanques y un restante 27% en jaulones.

En el Departamento del Cauca la actividad piscícola se ha incrementado, pasando de ser una actividad considerada solo para la seguridad alimentaria, particularmente por las comunidades indígenas del Macizo Colombiano, a ser una actividad más de carácter comercial. Esto se ve reflejado en que a partir del año 2012 se ha incluido en la encuesta nacional piscícola, en la cual se reporta una producción 479.2 t para el primer semestre del año 2012, de las cuales la trucha representa 65.2% (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Corporación Colombiana Internacional, 2012).

En lo que respecta a las ventajas que se tienen para el producto son la gran oferta hídrica y la posición geográfica, tanto para producción como para el mercadeo nacional e internacional, por la presencia de dos océanos que ofrecen las posibilidades de exportación hacia diferentes continentes. Además de los diferentes pisos térmicos que se tienen porque dan la posibilidad de cultivar cualquier tipo de especie, el régimen de temperaturas estable por ser un país tropical y la disponibilidad de las aguas.

Por otro lado, los proyectos de acuicultura rural tipo II (según la FAO “de los menos pobres”) se ven beneficiados, porque se desea invertir en acuicultura en proyectos medianos, familiares, de poca inversión y mediana producción y rentabilidad.

El apoyo a proyectos productivos y de sistemas de aseguramiento de la calidad aplicados a pequeños y medianos productores del sector piscícola, muestran el deseo de impulsar el desarrollo de la piscicultura como una alternativa para mejorar el desarrollo económico rural, generación de empleo y sostenibilidad alimenticia del país.

3.2 Parámetros fisicoquímicos de importancia en la producción de trucha

Temperatura: La trucha presenta un amplio rango de sobrevivencia que va desde 1°C hasta los 21°C, y para los juveniles en desarrollo se tiene una temperatura óptima entre 9 y 17°C. La temperatura es el factor más influyente dentro de un cultivo de trucha, ya que estos peces no pueden regular la temperatura corporal, es decir, son ectotermos (Morales, 2004), al mismo tiempo incide sobre el crecimiento y desarrollo de los mismos, en especial afectando su actividad metabólica, e incide en la concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua, puesto que a mayor temperatura la concentración de OD disminuye y por ende el sistema requiere de mayor cantidad de agua o de aireación constante, para evitar condiciones anóxicas (Aquino, 2008). La temperatura además de influir sobre los peces también lo hace sobre los procesos aeróbicos microbianos y su cinética de degradación (Vollertsen *et al.*, 1999). Para lograr la temperatura óptima necesaria en los cultivos de trucha, dicha actividad se desarrolla en zonas con alturas superiores a 2000 msnm, generalmente siendo zonas de páramo y cuencas altas de los ríos (INCODER, 2005).

Oxígeno disuelto: este parámetro está muy relacionado con la temperatura del entorno, la presencia de microorganismos estabilizadores de los sólidos acumulados en el sistema, el caudal del afluente y la caída del agua al inicio del estanque (Camacho *et al.*, 2000). La trucha necesita concentraciones de OD mínimo de 5,5 mg/L para su desarrollo, ya que con concentraciones más bajas los peces corren el riesgo de no poder extraer el oxígeno del agua ni transportado a través de las branquias (Aquino, 2008). La reducción del oxígeno generalmente se presenta por deficiencia en el recambio de agua, acumulación de alimento, sobrecarga de peces en el sistema y falta de limpieza de los estanques (Camacho, 2000).

pH: para el cultivo de trucha se acepta un rango de pH entre 6.5 y 9 (Malison y Hartleb, 2005), con pH muy alto ($\text{pH} > 11$) o muy bajo ($\text{pH} < 4$) se produce la muerte alcalina o la muerte ácida, respectivamente. Además, con valores de pH fuera del rango no hay reproducción y el crecimiento es lento, ocasionando sobrecostos por concepto de alimentación al productor. Afluentes con pH de 6 producen trastornos renales en los peces (Camacho, 2000).

Turbiedad: es causada por los sólidos suspendidos que ingresan al sistema o se producen en él; generalmente, se compone por material arrastrado desde el suelo y vegetación

especialmente en épocas de lluvia, además de organismos planctónicos, micro y macro fotosintéticos. La turbiedad expresada en unidades nefelométricas totales (NTU) disminuye la absorción de oxígeno por parte de los peces afectando sus branquias y originando infecciones en las mismas por irritaciones, reduciendo la tasa de crecimiento de los peces y ocasionando estrés (Aquino, 2008).

Amonio: es producido por los desechos metabólicos de los peces y la degradación de la materia orgánica acumulada en el sistema. La concentración máxima aceptable para la producción de trucha es de 0,012 mg/L en forma de amoníaco. Los compuestos amoniacales se encuentran en dos estados los cuales son amonio ionizado (NH_4^+) y amoníaco libre (NH_3) (Camacho, 2000), este último es el más tóxico de las dos formas, ocasionando lesiones en las branquias, es decir, destrucción del epitelio branquial, estimulación de glucólisis, inhibición de la producción de ATP, alteración de la actividad osmorreguladora, supresión del sistema inmunológico y retardo del crecimiento (Camargo y Alonso, 2007). El pH del agua determina la toxicidad del amoníaco, puesto que al aumentarlo en una unidad causa que se incremente 10 veces la producción de amonio tóxico (Aquino, 2008).

Compuestos inorgánicos: se requiere que las condiciones hidrobiológicas para el cultivo de trucha contengan ciertas concentraciones de compuestos inorgánicos tales como:

- ✓ Calcio: contenido mayor a 52 mg/L
- ✓ Cobre: en aguas blandas, concentraciones menores a 0,006 mg/L y para aguas duras concentraciones menores a 0,3 mg/L
- ✓ Hierro: concentraciones menores a 1.0 mg/L
- ✓ Nitritos: concentraciones menores a 0,55 mg/L
- ✓ Ácido sulfhídrico: concentración menor a 0,002 mg/L

3.3 Alimentación y crecimiento

El beneficio económico de la acuicultura intensiva y semi intensiva se encuentra íntimamente relacionado con el suministro y el costo del alimento, puesto que estos cultivos requieren alimentos con niveles elevados de proteína, entre 30 y 60%, debido a que esta especie de pez es carnívora (Kim, 1997). La trucha es una especie muy eficiente que aprovecha de su dieta la proteína y los lípidos para convertirlos en energía, pero asimila pobremente los carbohidratos por lo que es necesario que el alimento contenga menos del 12% de estos

últimos. Las truchas necesitan en su dieta vitaminas como la A, D, E, K, Complejo B y varios minerales como el fósforo, manganeso, zinc y cobre, los cuales son utilizados para el desarrollo estructural, osmorregulación y como co-factores en las reacciones metabólicas (Lovell, 2002).

La composición del alimento utilizado para la ceba de trucha, es decir, individuos con peso entre 150 y 250 gramos, está referenciado en la Tabla 1.

Tabla 1 Composición del alimento de la trucha

Proteína promedio	43%
Grasa mínima	2.5%
Fibra máxima	4%
Cenizas máximo	12%
Humedad máxima	13%
Tamaño Pellet	3,5-5,5 mm

Fuente: SOLLA (2009), Registro ICA 6239 AL.

Del alimento suministrado a las truchas, la digestión oscila entre el 70 y 75% convirtiendo un máximo del 30% en residuo fecal, el cual es fuente de diversos compuestos orgánicos que generan contaminación microbiológica y el efecto de reducción del oxígeno disuelto disponible en el agua afectando la respiración de los peces (Hussar *et al.*, 2005).

El crecimiento es uno de los factores importantes en el cultivo de trucha ya que éste depende del buen funcionamiento en el estanque, porque la calidad del agua afecta de manera directa la tasa de crecimiento de los peces; al no tener condiciones adecuadas se va perdiendo el apetito, se estresan y proliferan enfermedades, con lo que el pez utiliza sus energías en la supervivencia y no para su crecimiento (Mallya, 2007). Otro aspecto que influye en el crecimiento es la densidad en el estanque ya que un sobre poblamiento produce una reducción en el espacio del pez, por lo tanto, no se alimentan de manera uniforme (Hosfeld *et al.*, 2009).

En el ciclo de vida de la trucha arcoíris se describen generalmente cinco etapas: ovas, alevín, cría, juvenil y adulto, presentando un mayor crecimiento en la etapa juvenil que en la de adultez, debido a que los peces adultos utilizan su alimento en la producción de huevos o esperma, por eso el crecimiento es más rápido en la etapa juvenil (Aquino, 2008).

3.4 Fuentes de contaminación sólida al interior del estanque

Excretas: aproximadamente, el 30% del alimento consumido por el pez se convierte en residuos fecales, estos desechos están compuestos por 13% de la proteína, el 8% de la grasa, 40% de los carbohidratos, y 50% de las cenizas ingeridas (Asgard *et al.*, citados por Cripps y Bergheim, 2000). Además, se excreta alrededor del 40% de la proteína ingerida como nitrógeno disuelto en forma de NH_3 y NH_4^+ a través de las agallas y la orina (Cripps y Bergheim, 2000).

Alimento no consumido: el suministro de alimento en las estaciones piscícolas se realiza mediante el método de boleo, el cual consiste en tomar la ración de alimento y arrojarla al estanque tratando de distribuirlo uniformemente, evitando que los peces se agrupen en un solo lugar (Chimbor, 2009). Del total de la ración suministrada, entre el 5 y 10% no es consumido por los peces, de este porcentaje una parte es transformada por acción de las bacterias en compuestos solubles en el agua tales como amonio, fosfatos y dióxido de carbono y el resto se acumula en el fondo del estanque como sedimento (Rodríguez y Anzola, 2001).

Peces muertos: la muerte de los peces se convierte en foco de riesgo sanitario puesto que se descomponen fácilmente, por lo tanto, para el bienestar del sistema es conveniente la rápida extracción de ellos (Asociación civil LABOR, 2010), además de contabilizarlos diariamente para realizar un diagnóstico de enfermedades y restarlos al inventario de la producción. La muerte de los peces está alrededor de 7,9% (Blanco, 1995).

3.5 Factores fisicoquímicos alterados por el cultivo de trucha

Reducción de oxígeno disuelto: para el cultivo de trucha se requieren concentraciones de oxígeno disuelto entre 5,5 y 9 mg/L y presión de oxígeno en el agua de 157 mm Hg para que éste se pueda difundir a la sangre por medio de las branquias y así transportarse al interior del cuerpo a través del sistema circulatorio; la presión del oxígeno en el agua debe ser superior a 122 mm Hg puesto que esta es la presión que tiene la sangre del pez y 35 mm

Hg en los órganos y tejidos del animal. Además del oxígeno necesario para la respiración, las truchas requieren entre 0,3 y 0,5 Kg de oxígeno por cada Kg de alimento consumido (SOLLA, 2009), además estudios de Kindschi *et al.* (1991), citado por Colt *et al.* (2009), demuestran que la especie *Oncorhynchus mykiss* requiere entre 200 y 280 gr O₂/Kg alimento (Colt *et al.*, 2009). Una conversión estable de alimento requiere buena saturación de oxígeno en el agua puesto que al reducir esta saturación al 70 y 50% la tasa de conversión se incrementa 20 y 44% respectivamente, lo cual disminuye el crecimiento de los peces (Brons, 1986, citado por SOLLA, 2009).

Una de las causas de la reducción del oxígeno disuelto es la degradación *in situ* del contenido orgánico tanto del alimento como de las excretas de los peces (Bilotta y Brazier, 2008), lo que conlleva a condiciones anóxicas permitiendo que gases como amoníaco, dióxido de carbono, metano y sulfuro de hidrógeno puedan ser generados (Buryniuk *et al.*, 2006) además del incremento de la tasa metabólica debida al aumento en la temperatura del estanque, es decir, la variación de la temperatura del día con respecto a la noche y factores como densidad de siembra, disminución de caudal y salida de oxígeno del agua a la atmósfera.

Sólidos suspendidos: el término sólidos suspendidos (SS) se refiere a la masa (mg) o concentración (mg/L) de la materia inorgánica y orgánica, que por la turbulencia se encuentra en la columna de agua de un río, lago o estanque. Los SS son el resultado de alimento no consumido, heces fecales (Buryniuk *et al.*, 2006), medicamentos y peces muertos (Cripps y Bergheim, 2000) que se van acumulando a lo largo del estanque (Malison y Hartleb, 2005), normalmente, son agrupaciones de partículas finas, con diámetro inferior a 62 μm (Bilotta y Brazier, 2008); por lo que Cripps y Bergheim (2000) usando filtros de 100 y 30 μm consiguen reducciones en SST del 77 y 71% respectivamente; además, dichos sólidos presentan velocidad de decantación de 1 cm/s, con la cual el alimento no consumido y las heces son separados por sedimentación (Loix, 2005).

Dentro del alimento consumido por la trucha, del 48% del nitrógeno ingerido, el 79% es excretado en forma de nitrógeno amoniacal total (NAT) (Dalsgaard *et al.*, 2011); además, estos sólidos contienen entre 7 y 32% de nitrógeno total y 30 a 84% de fósforo total en fracción sólida, asimismo microorganismos y materia orgánica causante de los incrementos

en la DBO (Cripps y Bergheim, 2000). El exceso de sólidos suspendidos genera alteraciones físicas en el agua tales como la reducción de la penetración de la luz y cambios de temperatura; y químicas como la liberación de contaminantes (metales pesados y pesticidas), nutrientes (fósforo y nitrógeno) y la consecuente reducción del oxígeno disuelto (Bilotta y Brazier, 2008), debido a esto, las concentraciones superiores a 80 mg/L son perjudiciales para la salud de los peces (Aquino, 2008).

Los efectos de los SS sobre los organismos acuáticos son directamente proporcionales a las concentraciones de los sólidos, no obstante, otros factores como el tiempo de exposición, el tamaño de partículas y la composición química son parámetros que influyen sobre el efecto real de los SS hacia la biota acuática (Bilotta y Brazier, 2008). En el caso de los peces, los SS afectan directamente las agallas causando lesión, congestión e irritación de las mismas (Malison y Hartleb, 2005) además de la sofocación y adecuando el ambiente para la proliferación de organismos patógenos (Cripps y Bergheim, 2000), por lo que este parámetro es causa importante del deterioro de la calidad del agua (Bilotta y Brazier, 2008) disminuyendo la productividad primaria en el estanque y las fuentes receptoras (Malison y Hartleb, 2005) cuando no se tratan adecuadamente los efluentes.

Los SS al interior del estanque sufren el proceso físico de disolución, el cual es producido por fuerzas cortantes como la turbulencia del agua, movimiento de los peces y bombeo del agua (Brinker *et al.*, 2005). Además de la disolución, las excreciones sólidas y el alimento no consumido depositados en el fondo de los estanques sufren procesos de fermentación y degradación orgánica. El resultado final es la aparición de una serie de elementos químicos que se incorporan al agua y en la última fase al sustrato del medio (Blanco, 1995). El material es de origen orgánico, por lo tanto, su proceso de degradación se realiza de acuerdo con estas características, cuyo resultado final es la mineralización o transformación en sales minerales, incrementando la aparición de sólidos disueltos (Aquino, 2008).

La generación anual de SS en una estación piscícola fluctúa según Axler (1997) entre 289 y 839 Kg SS/Ton de pez producido; Bureau (2003) reporta un rango más pequeño, el cual oscila de 240 a 318 Kg SS/Ton de pez producido (Roque *et al.*, 2008), y Stewart *et al.* (2006) reportan para la especie *Oncorhynchus mykiss* una generación de SST que oscila entre 150 y 200 g SS/Kg de alimento consumido. Con esta generación, varios autores

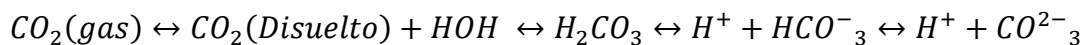
reportan concentraciones de SS en los efluentes piscícolas mostrando coincidencias como Muir y Solbe (1982), citados Cripps y Bergheim (2000), los cuales obtienen rangos entre 5 y 50 mg/L, Cripps y Bergheim (2000) reporta concentraciones mínimas de 6.9 mg/L.

La presencia de dos tipos de efluente en el proceso de cultivo de peces hace que se obtengan dos valores diferentes de SS. Un tipo de efluente es el del proceso de levante y engorde del pez, el cual maneja cerca del 95% del agua con concentraciones aproximadas de 6 mg/L; mientras que el segundo efluente se da en la operación de lavado del estanque, utilizando menor cantidad de agua, pero a la vez incrementando la concentración de sólidos suspendidos a 793 mg/L, aproximadamente (De la Cruz y Salazar, 2007). Estos tipos de efluentes cargados de SS hacen que las fuentes receptoras disminuyan su calidad, conduciendo a mayores costos de tratamiento, reducción de los recursos pesqueros, degradación ecológica de los ambientes acuáticos y descenso del aspecto estético (Bilotta y Brazier, 2008).

Sólidos disueltos: los sólidos disueltos (SD) en el agua están compuestos por iones inorgánicos como cloruros, sulfatos, fosfatos, nitratos, calcio, magnesio, y orgánicos como bicarbonatos, entre los más característicos (Brix *et al.*, 2010), los cuales están relacionados con el grado de mineralización del agua ya que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver a su paso (Roldán y Ramírez, 2008), presentando un diámetro menor a 1 μ m (SAGPyA, 2006).

La trucha puede tolerar concentraciones menores a 500 mg/L de SD, no obstante, un incremento de los SD puede ocasionar diversos efectos perjudiciales para el pez como el endurecimiento en el agua (Brix, 2010), y problemas de osmorregulación debido al aumento en la salinidad producida principalmente por los cloruros (Roldán y Ramírez, 2008). Es por ello que los SD son un problema importante que se genera en los cultivos de trucha y su tratamiento no es posible por medio de sistemas convencionales de remoción mecánica (Cripps y Bergheim, 2000).

Dióxido de carbono: el dióxido de carbono es excretado hacia el agua como CO₂ (gas) por los peces a través de sus agallas; al ser liberado, este compuesto reacciona disolviéndose y formando bicarbonatos, carbonatos y ácido carbónico (Colt *et al.*, 2009), mediante las reacciones:



Altas concentraciones de CO₂ pueden reducir el pH e interferir en el transporte de oxígeno a través de las agallas de los peces (Malison y Hartleb, 2005), además de formar depósitos calcáreos en los riñones o nefrocalcinosis, con concentraciones de 24 mg/L y exposición por 58 días para salmónidos, en especial para la especie *Salmo salar* (Fivelstad, 1988, citado por Colt, 2006). Para el caso de la trucha especie *Oncorhynchus mykiss*, Kutty (1968) determinó que el coeficiente de respiración es de 1320 grCO₂/KgO₂ (Colt *et al.*, 2009).

Otro efecto de las altas concentraciones de CO₂ es un elevado ritmo cardíaco que incrementa el volumen de sangre en las agallas, reduciendo el tiempo de tránsito de la sangre en las mismas de 3 a 1 segundo, limitando la duración necesaria para realizar los procesos de asimilación del oxígeno (Brauner *et al.*, 2000).

Nitrógeno: el nitrógeno se encuentra presente en los aminoácidos, base de las proteínas, las cuales son componentes importantes de todas las células y en promedio contienen 16% en peso de este nutriente (Henry y Heinke, 1999). Las proteínas al ser consumidas por los peces son sintetizadas y una parte es metabolizada para convertirse en tejido y energía, mientras que el resto es excretado mediante las branquias y la orina en forma de amonio, siendo éste el mayor desecho metabólico producido por los peces (Francis y Watson, 2005). Además, el alimento de los peces es la principal fuente de nitrógeno constituyendo entre el 52 y 72% del total de los nutrientes presentes en los efluentes piscícolas (Gál *et al.*, 2003), el cual genera problemas ambientales en las fuentes receptoras, con concentraciones críticas entre 0,30 a 0,93 mg N/L (Tello *et al.*, 2010).

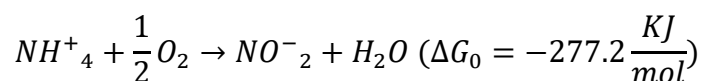
El amonio es uno de los tóxicos comúnmente presentes en los efluentes (Hofer, 1995), este se presenta en forma de NH₄⁺ o también llamado amonio ionizado, y NH₃ o amoniaco, estas dos formas de amonio representan el nitrógeno amoniacal total (NAT) (Francis y Watson, 2005). El NH₄⁺ es la forma menos tóxica y predomina a pH bajo mientras que el amoniaco es la forma más tóxica y predomina con pH relativamente altos, estando en menos del 10% para pH menores de 8 (Hargreaves y Tucker, 2004).

En pequeñas cantidades, el amoniaco causa estrés y leve daño a las agallas de los peces, mientras que, estando expuestos a altos niveles, los peces son susceptibles a infecciones

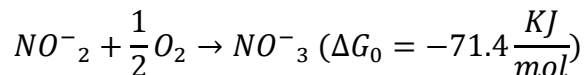
bacterianas (Francis y Watson, 2005) y tienen una pobre conversión alimenticia puesto que los peces no pueden extraer eficientemente la energía del alimento (Hargreaves y Tucker, 2004), produciendo efectos neurotóxicos, desbalance osmótico, hipertrofia e hiperplasia de las agallas e incluso la muerte de los peces (Hofer *et al.*, 1995). Para la especie *Oncorhynchus mykiss* se tiene que la toxicidad del amoníaco o CL_{50} está entre 0.16 y 0.37 mg N-NH₃ IL para una exposición de 96 horas y de 0.05 mg N-NH₃ /L para 72 días (Camargo y Alonso, 2007).

La forma tóxica del nitrógeno amoniacal predomina durante el final de la tarde mientras que el NH₄⁺ predomina desde el amanecer hasta media mañana (Hargreaves y Tucker, 2004), debido al ciclo del nitrógeno en el agua, el cual elimina amoníaco transformándolo en nitrito o NO₂ por medio de bacterias del grupo Nitrosomas que usan como sustrato el NH₄⁺, dicho NO₂ es convertido a nitrato o NO₃ por las bacterias Nitrobacter, las cuales usan como sustrato dicho nitrito (Hargreaves y Tucker, 2004), mediante las reacciones de nitrificación:

- ✓ Realizada por el género Nitrosoma.



- ✓ Realizada por el género Nitrobacter.



Estos dos tipos de bacterias son organismos quimio autótrofos y estrictamente aerobios con consumo de oxígeno de 4.57 gO₂/gNH₄ oxidado y consumo de alcalinidad de 7.14 mgCaCO₃/mg NH₄ oxidado; además, ambas bacterias siguen la cinética de crecimiento tipo Monod, las cuales tienen tasas de formación de 1 a 30 millones y de 5 a 70 millones µgN/día – g seco de célula, correspondiente (Atlas y Bartha, 2002).

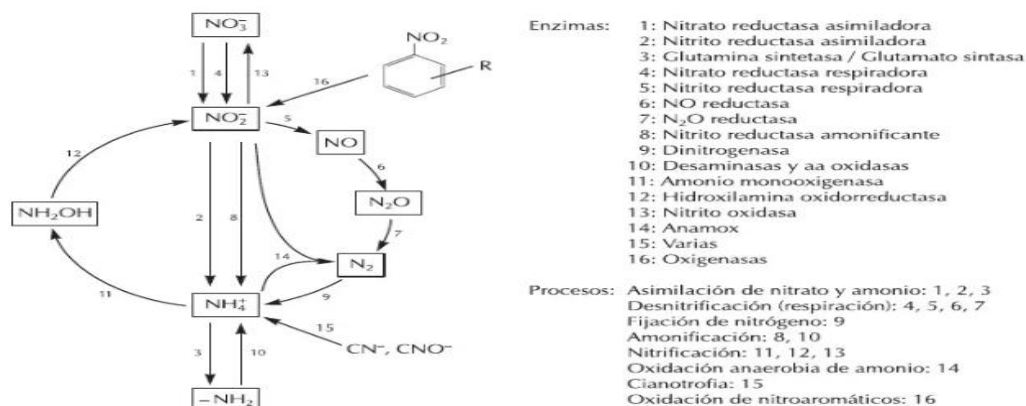
El nitrato en bajas concentraciones puede ser considerado inofensivo para los peces, debido a la baja permeabilidad branquial, lo cual hace que su absorción a través de las branquias sea

limitada (Camargo y Alonso, 2007). Dicho nitrato es tomado y metabolizado como alimento por las algas (Francis y Watson, 2005). El inconveniente del ciclo del nitrógeno (Figura 4) para la piscicultura es que estas bacterias necesitan oxígeno para realizar su función de conversión, por lo tanto, si el oxígeno disuelto es limitado el ciclo se rompe y solo se transforma el nitrógeno amoniacal en nitrito que es tóxico para los peces (Hargreaves y Tucker, 2004). La toxicidad del nitrito o CL_{50} para la trucha de la especie *Oncorhynchus mykiss* es de 0,1 a 0,4 mg NO_2/L en un periodo de 96 horas, conllevando a afectar la conversión de los pigmentos respiratorios a formas incapaces de transportar y liberar oxígeno causando asfixia y la muerte de los peces (Camargo y Alonso, 2007).

Fósforo: el fósforo total PT está compuesto por cantidades de fósforo disuelto o reactivo y en forma particulada como orto fosfatos, polifosfatos y fosforo orgánico. Alrededor de 30 al 80% de los SS en los efluentes de trucha están compuestos por fósforo (Stewart *et al.*, 2006).

El alimento comercial para la ceba de trucha generalmente contiene más fósforo que lo requerido por el pez (McDaniel *et al.*, 2005), en relación de 4:7 (N, P) cuando lo normal es de 1:1 (Stewart *et al.*, 2006); este nutriente es excretado por medio de la orina o las heces fecales en forma de fosfatos inorgánicos (Coloso *et al.*, 2003). Entre el 30 y el 84% del total de fosforo descargado en los efluentes piscícolas es generado por la excreta del pez, alimento no consumido y restos de peces muertos (Lefrancois *et al.*, 2010). Dicho alimento no consumido aporta la mayor parte del fosforo ya que tiene concentración promedio en base seca de 16,06 mg P/g de alimento (García – Ruiz y Hall, 1996).

Figura 4 Ciclo del Nitrógeno



Fuente: Castillo (2005)

A nivel general, en la piscicultura se tiene que la retención del fósforo está en un rango del 17 al 40% expresado con respecto a la cantidad de este en el alimento; análogamente las heces fecales contienen entre el 15 y 70% y las excreciones de fósforo en forma disuelta presentan del 1 al 62% (Piedrahita, 2003). Para el cultivo de trucha se tiene que el 25% del fósforo total en el alimento es asimilado por pez y de este, el 44% es excretado como materia fecal (García – Ruíz y Hall, 1996); experimentalmente, en reactores tipo Batch, la degradación del fósforo inicia en las primeras 24 horas de funcionamiento (García – Ruíz, año, citado por Lefrancois *et al.*, 2010), teniendo incremento lineal y continuando con esta tendencia de 2 a 7 días más de funcionamiento del reactor (Stewart *et al.*, 2006).

Estudios realizados en el departamento del Cauca reportan cargas contaminantes de fósforo de 9,86 Kg P/Ton _{pez producido} al mes, siendo la estación piscícola el Diviso la que mayor contribuye con 2,73 Kg P/Ton _{pez producido} al mes (Fernández *et al.*, 2010), valores superiores al reportado por Bureau *et al.* (2003) de 1.3 Kg P/Ton _{pez producido} (Roque *et al.*, 2008). Estos aportes de fósforo en los efluentes causan el excesivo crecimiento de algas en las fuentes receptoras ocasionando la eutrofización prematura (McDaniel *et al.*, 2005), con concentraciones de 0,071 a 0,075 mg/L (Camargo y Alonso, 2007), Tello (2010) reporta valores de 0,04 a 0,29 mg/L, proceso que se puede reducir limitando la provisión de fósforo descargado (Henry y Heinke, 1999).

El fósforo sólido, acumulado en el estanque como polifosfatos, forma parte del detritus, el cual bajo condiciones aeróbicas es asimilado y sintetizado intracelularmente por el metabolismo de las bacterias presentes (Barak y Rijn, 2000); sin embargo, existen otros factores que afectan la disolución del fósforo, los cuales son la concentración de oxígeno disuelto (McDaniel *et al.*, 2005), pH alto y dureza del agua (Lefrancois *et al.*, 2010).

3.6 Consecuencias de un equivocado manejo del cultivo

Enfermedades. La aparición de enfermedades es uno de los principales problemas que se presenta en los cultivos de trucha debido a que constantemente requieren agua de buena calidad. Las enfermedades se desencadenan de forma natural o inducida debido a un mal manejo del cultivo. Los principales factores que ayudan a esta aparición son de orden fisiológico, químico y biológico (Chimbor, 2009). Según Aquino (2008), los factores más comunes en la propagación de enfermedades son:

- ✓ Suministro de aguas contaminadas.
- ✓ Acumulación de restos de alimento y excremento en los estanques.
- ✓ Deficiencias en la cantidad, calidad y frecuencia de alimento.
- ✓ Falta o inadecuada limpieza de los estanques.
- ✓ Deficiencia en el recambio del agua de los estanques.
- ✓ Estrés por condiciones hidrológicas inadecuadas.
- ✓ Presencia de animales silvestres transmisores de enfermedades.

La cantidad de alimento suministrado es un factor muy importante para tener en cuenta, ya que un exceso de alimento provoca mayor acumulación de sólidos en el fondo del estanque (Aquino, 2008), ayudando a la masificación de procesos de degradación y disolución los cuales incrementan la proliferación de patógenos.

Las enfermedades más comunes que se presentan en los cultivos de trucha son generadas por virus, bacterias y parásitos (Chimbor, 2009), por lo cual la utilización de fármacos se hace de forma continua para su control, haciendo que el efluente del cultivo contenga niveles perjudiciales de antibióticos (Rodríguez y Anzola, 2001).

Eutrofización aguas abajo. Las estaciones truchícolas debido a su ubicación en zonas de cuenca alta son una fuente importante de contaminación antropogénica, debido a que su efluente genera procesos de eutrofización aguas abajo por medio del enriquecimiento excesivo de nutrientes, como fósforo y nitrógeno presentes en el alimento no consumido y las heces, llevando al aumento de la demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, patógenos y residuos químicos producto de los antibióticos (Tello *et al.*, 2010). Este exceso de nutrientes en la fuente receptora ayuda a un crecimiento excesivo de fitoplancton (Fernández, 2008), ya que su fuente principal es la descomposición de la materia orgánica, la cual al mineralizarse coloca de nuevo los iones nitratos y fósforos a disposición de las algas (Roldán y Ramírez, 2008).

La contaminación generada por los efluentes piscícolas provoca un importante efecto aguas abajo del vertimiento, generando la disminución del oxígeno disuelto, debido al aporte de sólidos suspendidos que estos efluentes generan (Tello *et al.*, 2010); otro factor limitante para el oxígeno es la descomposición de las algas muertas, generando la muerte masiva de los peces, por efectos de anoxia que se presentan en ecosistemas eutróficos (Camargo y Alonso,

2007). Estos efluentes son generalmente vertidos sin un tratamiento adecuado a la fuente receptora limitando su uso para actividades como el riego, recreación (Arce, 2006) y especialmente para el consumo humano, ya que una alta concentración de nitratos en el agua produce especialmente a los niños menores de 6 meses de edad reducciones en la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, debido a que el nitrato se convierte en nitrito en el estómago (Crites y Tchobanoglous, 2000, citado por Fernández, 2008).

3.7 Estado de la técnica para la prevención o mitigación de la contaminación asociada a la producción de la trucha arcoíris

La piscicultura no puede subsistir sin el agua, pues es un elemento vital para su desarrollo y dependiendo de la especie a cultivar se tendrán las necesidades de calidad y cantidad de recurso hídrico, siendo la trucha una de las más exigentes.

En Colombia la producción de trucha se da en zonas de alta montaña donde la cantidad y calidad del agua posee las características para su buena producción. Esta especie también requiere condiciones alimenticias especiales, con altos niveles de proteínas, las cuales no todas son incorporadas a la formación de la biomasa del pez, excretándose cerca del 50% en forma sólida y disuelta, lo cual sumado al alimento que no se consume se convierten en contaminantes del recurso hídrico.

La contaminación generada por la trucha está asociada principalmente a la presencia de materia orgánica, especies de nitrógeno y fósforo y la presencia de antibióticos. Esta ya ha sido caracterizada en diferentes regiones del mundo e identificadas las limitaciones para la solución del problema causado.

Las soluciones reportadas incluyen la combinación de varios conceptos tales como la aplicación de mejores prácticas de alimentación y manejo, que permite controlar la cantidad de alimento no consumido, el cambio de la dieta alimenticia que facilita una mayor acumulación de los nutrientes en la biomasa del pez, con una menor generación de residuos y control tecnológico mediante la introducción de sistemas para la remoción de los sólidos suspendidos con base en filtros mecánicos, sedimentadores y el desarrollo de estanques que extraen los sólidos en forma separada del efluente principal (Fernández, 2014).

A continuación, se hace una revisión bibliográfica de aspectos que se consideran de importancia para el control de la contaminación piscícola, especialmente en temas como la caracterización de los efluentes generados en la producción de trucha, usos del recurso hídrico, características de los contaminantes presentes en el efluente y de manera particular los sólidos generados. También se presenta una revisión sobre el control de la contaminación, como el generado por el uso de mejores prácticas de producción en la alimentación y la dieta del pez, la separación de los sólidos del efluente por diferentes métodos, incluidas las alternativas que usan el estanque para este propósito.

3.7.1 Caracterización de los efluentes de estanques piscícolas de trucha: uso del recurso hídrico

Las granjas piscícolas en general utilizan más agua por unidad de producción que cualquier otro proceso de producción (Warrer y Hansen, 1982), sin embargo, en años recientes los desarrollos realizados en el diseño y geometría de los estanques ha permitido un uso más eficiente del agua (Bergheim y Brinker, 2003; Oca *et al.*, 2004). Un reporte del Norwegian Directorate of Fisheries, donde se comparan las cantidades de agua usada y la producción de peces, entre el año 1985 y el 2000, en granjas productoras de Salmón, mostró que aunque se incrementó la producción de biomasa en más de 15 veces, el consumo de agua se redujo de aproximadamente 1000 m³.kg⁻¹ -pez en 1985, a un rango entre 100 a 200 m³.kg⁻¹ -pez para el 2000 (Bergheim y Brinker, 2003).

En el cultivo de trucha las necesidades de recurso hídrico son grandes debido los requerimientos de oxígeno disuelto. Stevenson (1985) reporta que para cultivos intensivos se requiere de 500 a 650 m³ diarios por tonelada de producción a una temperatura de 15°C, mientras que Cripps y Bergheim (2000) reportan flujos de 1440 a 2800 m³ por día por tonelada producida, lo cual muestra los grandes flujos de agua que se requiere en cultivos comerciales. Un estudio realizado en 5 granjas productoras de trucha arco iris ubicadas al sur del Idaho US, reportó caudales de entrada a la granja en el rango de 58 a 510 m³.min⁻¹, con producciones anuales de entre 454 y 3175 mil toneladas, lo cual genera flujos de 67 a 84 m³.día⁻¹ por tonelada diaria de pez producido (True *et al.*, 2004a), valores que están por debajo de los reportados por Cripps y Bergheim (2000) y Stevenson (1985). Valores de flujo del

orden de 302 m³ .día-1 por tonelada son reportados por Cripps y Bergheim (2000) usando oxígeno suplementario que permite un agua sobre saturada a 160-200% de oxígeno.

El uso de oxígeno suplementario ayuda a reducir la cantidad de recurso hídrico necesario en la producción de trucha. Sin embargo una reducción de la cantidad de agua en estanques ya establecidos puede generar la sedimentación del material sólido en la zona de cría de estanques tipo canal “raceways”, lo que genera consumos extras de oxígeno debido al alto contenido orgánico de los sólidos. Para evitar el fenómeno de sedimentabilidad, la velocidad de flujo dentro del estanque debe estar entre 0.1-0.4 m.s⁻¹ (Boersen y Westers, 1986), aunque en la práctica True *et al.* (2004b, 2004c) reporta velocidades de flujo en estanques tipo canal 70% por debajo del valor mínimo recomendado. Estas dos consideraciones (velocidad de flujo y consumo de oxígeno) indican que el flujo de agua no solo debe considerar la cantidad de oxígeno requerida por el pez, sino que también debe ser capaz de arrastrar los sólidos que se generan durante la producción.

Contaminantes presentes

En el esquema tradicional de estanques dos tipos de efluentes son reportados: uno principal que contiene entre el 85-99% del caudal de entrada a la granja, mientras que el segundo efluente es generado durante la extracción del lodo sedimentado en los estanques o por el lavado de sistemas de remoción de sólidos (True *et al.*, 2004a, Summerfelt *et al.*, 1999).

El efluente principal se caracteriza por contener bajas concentraciones de sólidos y/o nutrientes, particularmente nitrógeno y fósforo. Concentraciones típicas de sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT) y fósforo total (FT) son de 14, 1.4 y 0.13 mg.L⁻¹ respectivamente (Cripps y Bergheim, 2000). True *et al.* (2004a) reporta concentraciones de SST por debajo de 5 mg.L⁻¹ y NT de 0.1 mg.L⁻¹ en granjas piscícolas del sur de Idaho (US).

Una caracterización del efluente principal, en tres granjas de trucha, ubicadas en el estado de Virginia US, reportó promedios de SST en el rango de 3.2 y 6.1 mg.L⁻¹ , demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de 1.3 mg.L⁻¹ , carbono orgánico disuelto (COD) entre 1.9 y 2.3 mg.L⁻¹ y nitrógeno amoniacal total entre 0.1 y 0.6 mg.L⁻¹ (Maillard *et al.*, 2005). Sin

embargo, estos valores promedio dependían de actividades como la alimentación y cosecha, durante las cuales se incrementan la concentración de los contaminantes, particularmente, de los SST. Durante el proceso de cosecha, Maillard *et al.* (2005) reporta que los SST se elevan de un promedio de 0.7 a 16.1 mg.L-1 y el nitrógeno total Kjeldahl (NTK) de 1.6 a 5.4 mg.L-1 y el orto-fosfato (OP) de 33 a 19 µg.L-1 . Por otra parte, un estudio realizado por De la Cruz y Salazar (2007) en una granja con cultivo intensivo, en Colombia, reporta SST en el efluente de la granja en el rango de 7 a 34 mg. L-1, mientras que en cultivos semi intensivos, ubicados en la misma zona de Colombia, Yasnó y García (2007) reportaron concentraciones de SST entre 1.2 y 7.5 mg. L-1.

El efluente generado durante la limpieza presenta bajos flujos de agua, entre el 1 y 15% del flujo total de la granja, pero altas concentraciones de sólidos orgánicos, la cuales dependen de la densidad de biomasa en estanque y el tiempo de acumulación de lodo. True *et al.* (2004a) reporta concentraciones del orden de 100 mg. L-1 en SST y entre 1 – 30 mg. L-1 en PT. Yasnó y García (2007) reportaron SST en el efluente sin tratamiento del lavado de los estanques, en el rango de 4.2 y 422 mg. L-1, con incrementos en DBO₅ de 1.0 hasta 135 mg. L-1, con periodos de limpieza de entre una y dos semanas y densidades de biomasa entre 10 y 12 kg.m³. Valores de 2050 mg. L-1 de SST y de 793 mg. L-1 en DBO₅ fueron reportados por De la Cruz y Salazar (2007) para estanques con periodos de limpieza y una vez en ocho días y densidades de cultivo de 35 kg.m³. Ebeling *et al.* (2005) reportaron concentraciones promedio de SST de 1015 mg. L-1, 548 mg. L-1 de DBO₅ y 38.8 mg. L-1 de NO₃ en el efluente de lavado de sistemas de tratamiento de agua para recirculación.

Tal como se apreció en los párrafos anteriores, el efluente principal de la producción de trucha presenta bajas concentraciones contaminantes que no hacen fácil su tratamiento con base en procesos de tratamiento tradicionalmente usados en aguas residuales. En el caso del efluente de lavado su tratamiento resulta más fácil dadas las mayores concentraciones de contaminantes y sus bajos flujos.

Características de los Sólidos Suspendidos

La importancia del material suspendido no solo corresponde al aporte en el carbono orgánico y en nutrientes como el fósforo y el nitrógeno, sino que también se considera el tamaño y

distribución de partículas. Las pequeñas partículas son difíciles de remover además poseen una gran área superficial respecto al volumen, lo que se considera importante para la transferencia al medio acuoso de los nutrientes (Maillard *et al.*, 2005; Patterson *et al.*, 1999).

Las principales fuentes del fósforo en los efluentes piscícolas se presentan por el alimento comercial y las heces de los peces. La excreción urinaria de fósforo en el pez se incrementa con su incremento en la dieta ya que la retención del fósforo en cuerpo del pez es relativamente baja (Bureau y Cho, 1999; Sugiura *et al.*, 1999; Rodehutsord *et al.*, 2000). Además de la excreción urinaria el fósforo también es eliminado de manera suspendida en las heces. Foy y Rosell (1991), García-Ruiz (1996) y Bergheim *et al.* (1993) reportaron que entre el 7 y 84% del PT se encuentra en los sólidos suspendidos y entre el 7 y el 32% del NT se presenta en la misma forma; este amplio rango de valores depende de la concentración y disponibilidad del fósforo en el alimento, al igual que su manejo de la dieta en la granja. El contenido de fósforo suspendido, en el efluente de tres granjas de trucha correspondió en promedio al 3.4% de los SST (True *et al.*, 2004a). Otros autores reportan que el contenido de fósforo en los sólidos totales en las descarga de las granjas representa entre el 0.88 y el 6.6% en peso seco (Castledine, 1986; Westerman *et al.*, 1993, citado por True *et al.*, 2004a).

Estas cantidades de nitrógeno y fósforo en los sólidos suspendidos sugieren que su remoción reduce el contenido de estos contaminantes en el efluente de las piscícolas de trucha. La remoción del material suspendido por métodos mecánicos considerando el tamaño de partícula, fue evaluado por Cripps (1994) usando un tambor mecánico con malla de 60 μm tamaño de poro, alcanzando remociones de 47-84% del fósforo total, 7 a 32% del nitrógeno total, 21 al 80% de la DBO_5 y 19 al 91% de los SST. Estos resultados muestran el gran potencial que tendrían sistemas mecánicos de remoción de partícula para el control de la contaminación, siempre y cuando se considere el tamaño de partícula.

El entendimiento del tamaño y distribución de partícula que se generan durante la producción piscícola se consideran importantes, no solo para lograr un efluente menos contaminado sino también para visualizar alternativas que permitan el tratamiento del efluente, particularmente la remoción del material suspendido.

Un estudio realizado por Maillard *et al.* (2005) en el efluente y en el lodo de tres granjas piscícolas de trucha, pasando un volumen determinado de muestra a través de una serie de

filtros con tamaños de poro de 210, 105, 70, 30 y 1.5 μm , determinó la cantidad de masa retenida entre cada uno de ellos. Ellos reportan que la mayor cantidad de masa se encuentra distribuida entre los rangos 1.5 a 30 μm (36%) y >210 μm (42%). El estudio también mostró que para el lodo el mayor porcentaje (85%) se encuentra en el rango más pequeño. Los tamaños de partícula también variaron proporcionalmente con el tamaño del pez, siendo el rango más pequeño de tamaño de partícula el de mayor proporción.

True *et al.* (2004a) reportaron que el 69% de la masa de sólidos en el efluente de cinco granjas piscícolas de trucha, presenta tamaños mayores a 53 μm y que el 52% cuenta con tamaños mayores a 105 μm . En el mismo estudio usando un equipo analizador de partículas por difracción láser mostró que en tamaños el 89% de las partículas tienen más de 53 μm y el 76% más de 105 μm . Estos resultados muestran que, aunque existe una gran cantidad de partículas de más de 53 μm , aún existe una masa de partículas finas que no es fácilmente removible por procesos mecánicos y que generarían una contaminación más del tipo coloidal.

Los sólidos suspendidos y especialmente la materia fecal en los estanques pueden recibir abrasión mecánica y rompimiento por la turbulencia generada por los propios peces o/y el flujo del agua. Este efecto genera un incremento en la porción de partículas pequeñas que afecta la cinética de la disolución de los contaminantes en el agua (Patterson, 1999; Ritmann y McCarty, 2001; Jhonson *et al.*, 2004a). Sin embargo, Brinker y Rösch (2005) plantearon que en regiones de baja turbulencia se incrementa la probabilidad de colisiones entre partículas, algunas de las cuales tendrían la tendencia a aglutinarse y formar grandes partículas, especialmente las de tipo orgánico debido a las características de superficie.

Ruiz y Hall (1996) observaron el incremento en la tasa de disolución del fósforo en partículas finas de alimento sometidas a agitación, en comparación con partículas grandes de alimento sin agitación. También reportan que entre el 41 – 64% del fósforo total presente en las heces fecales se disolvió durante las primeras 24 horas.

Un estudio realizado sobre el efecto de la agitación en la disolución de los nutrientes y materia orgánica presentes en el lodo sedimentado de los estanques de trucha fue reportado por Stewart *et al.* (2006). El estudio fue realizado a escala de laboratorio usando tanques de 20 L, con y sin agitación. El experimento se realizó durante 7 días, verificando cada 12 horas el

contenido de nutrientes y materia orgánica en el agua. En ambos casos la disolución de nutrientes fue elevada durante las primeras 24 horas. Sin embargo, la mayor disolución se presentó en el estanque con agitación, alcanzado 83% del fósforo total, 84% de los ortofosfatos, 78% del nitrógeno total Kjeldahl, 61% del nitrógeno total amoniacal y el 100% del carbono orgánico total. Siendo mucho más lento el proceso de disolución durante los días 2 a 7. Esta información sugiere que la extracción diaria del lodo de los estanques de trucha es altamente recomendable para mantener un efluente de mejor calidad en la producción de trucha.

3.7.2 Control de la contaminación con base en mejores prácticas disponibles

Manejo de la alimentación

Bureau y Cho (1999a) indicaron que una estrategia fundamental para la reducción de los desechos piscícolas está en la dieta. Mejorar la calidad del alimento mejora la disponibilidad del fósforo y las proteínas generando un menor residuo en el efluente. Un alimento con pequeñas tasas de rompimiento minimiza las pérdidas de alimento, además la optimización de los sistemas y protocolos de alimentación permiten reducir la generación de desechos (Cripps y Bergheim, 2000).

La relación entre la calidad del alimento y la generación de residuos orgánicos ha sido estudiada en varios reportes, (Bureau y Cho, 1999a, Cho *et al.*, 1994, Bureau y Cho, 1999b Azevedo *et al.*, 1998). Bureau y Cho, (1999a) mostraron que un incremento en la tasa de conversión de alimento (alimento utilizado/ganancia de peso) de 0.83:1 a 1.11:1 genera un 30% más de residuo de alimento, el nitrógeno contenido en los sólidos suspendidos se cuadruplicó, mientras que el total de sólidos suspendidos residuales se incrementaron en una proporción de tres y el fósforo sólido se incrementó en un 60%.

Investigaciones realizadas por Bureau y Cho (1999a) mostraron que el incremento del fósforo asimilable en la dieta de la trucha incrementa la presencia de fósforo disuelto en el agua, lo cual es también reportado por Sugiura *et al.* (1999b). Bureau y Cho (1999a) usando 4 dietas con diferentes niveles de fósforo encontraron que la cantidad de fósforo asimilada por el pez se incrementa con el aumento de fósforo en el alimento, sin embargo, también se incrementó en la cantidad de fósforo excretado sólido y disuelto.

Una evaluación comparativa de dos dietas una de alta energía (45% proteína, 20% grasa, 17.4 MJ energía digerible.kg-1) y otra de baja energía (38% proteína, 12% grasa y 14.6 MJ energía digerible.kg-1) fue probada en un estanque de 10 m³ con trucha arco iris, que utilizó un sistema de recirculación de agua y un filtro de malla de 80 µm para el tratamiento del agua. En este sentido, los resultados mostraron que el uso de la dieta de alta energía se asoció con altos niveles de nitrógeno amoniacal y nitritos, bajas concentraciones de DBO5 y sólidos suspendidos totales en el efluente, también se consideraron más bajos los sólidos suspendidos, los nitratos y el fósforo disuelto por unidad de alimento. La presencia de fósforo en el efluente se consideró más significativa en los sólidos sedimentables de las dietas de alta energía (85%) que en la de baja energía (76%) (Heinen *et al.*, 1996). Las proteínas y los lípidos son bien digeridos por el pez y representan un componente menor de los desechos sólidos. Sin embargo, el nitrógeno excretado en forma disuelta es el componente más grande de estos desechos. La optimización de la relación proteína/energía en la dieta reduce la excreción del nitrógeno.

Si bien el uso de dietas de alta energía y alta densidad de proteína, pueden generar un impacto positivo en la disminución de residuos contaminantes en el efluente piscícola, la cantidad de alimento suministrado debe ser optimizado al punto de generar la mínima cantidad de alimento no consumido (Cripps y Bergheim, 2000). Actualmente, se dispone comercialmente de tecnología para la alimentación automática y el monitoreo de la comida no consumida. El suministro de alimento se detiene cuando partículas de comida son detectadas, por ultra sonido, en el efluente del estanque, controlando de esta manera el uso excesivo de alimento (Durant *et al.*, 1995; Summerfelt *et al.*, 1999). Otro tipo de alimentadores utiliza controladores de tiempo para el suministro de alimento lo cual también ha permitido disminuir la cantidad de alimento que se pierde, además de reportar el incremento en crecimiento de los peces hasta en un 60% comparado con el suministro por raciones manuales (Cripps y Bergheim, 2000). De otra parte, las ubicaciones de los sistemas automáticos de alimentación son considerados como importantes y afectan la cantidad y la distribución de los lodos generados. Muchos peces como las truchas no consumen el alimento del fondo, por lo tanto, la hidrodinámica del tanque, así como la ubicación del sistema de alimentación debe ser ajustada de tal manera que mantenga el alimento en suspensión el mayor tiempo posible (Cripps y Bergheim, 2000).

Remoción de sólidos

En términos generales es mucho mejor y más fácil remover las partículas suspendidas que las disueltas. En este sentido, la aplicación de tecnología para remover los sólidos suspendidos del efluente de los estanques piscícolas es cada vez más popular en Europa y los EU (Cripps y Bergheim, 2000).

En la separación de partículas dos métodos han sido empleados: mecánico y gravitacional. Los dos métodos han sido usados de manera combinada. En una primera etapa la sedimentación es utilizada para la separación de partículas, mientras que el uso de mallas mecánicas se utiliza como segunda etapa. En este caso la sedimentación es usada como sistema de pretratamiento (Cripps, 1994; Summerfelt *et al.*, 1999). En cultivos intensivos, donde grandes flujos de agua son requeridos y bajos tiempo de retención son utilizados, el proceso de sedimentación como primera etapa de tratamiento es ineficiente (Cripps, 1994). Sin embargo, este proceso podría ser empleado para espesar los lodos que previamente han sido retenidos en un sistema mecánico de malla (Cripps y Bergheim, 2000).

Separación por Procesos Mecánicos

Dentro de las tecnologías de separación mecánica de los sólidos suspendidos el uso de filtro de micro mallas (microscreens filters) es cada vez más popular, ya que requieren un mínimo de mano de obra y espacio, además de tener capacidad para tratar grandes caudales con bajas pérdidas de carga (Cripps y Bergheim, 2000; Ebeling *et al.*, 2005). Estos están compuestos por una malla fina de tamaño de poro entre 60 a 200 μm de, en forma de discos o tambores rotativos. Un retro-flujo de agua es usado para el desprendimiento y extracción de los sólidos retenidos. Este flujo corresponde entre el 0.2 al 1.5% del flujo total tratado y presenta una concentración de SST del orden de 1000 mg.L^{-1} (Ebeling *et al.*, 2005).

Los sistemas de mallas rotativas se consiguen comercialmente y fueron desarrolladas más para sistemas de tratamiento de agua de consumo humano que para el tratamiento de efluentes piscícolas. La evaluación de la eficiencia de un sistema comercial “Hidrotec Drum Filter”, que usó una malla con tamaño de poro de 6 μm , fue reportada en los siguientes rangos: sólidos suspendidos 67 a 97%, fósforo total y nitrógeno total de 4 - 89%. (Cripps y Bergheim, 2000; Twarowska *et al.*, 1997). Estas altas variaciones de la eficiencia indican que

depende de las características de los sólidos suspendidos en el efluente (tamaño y distribución de partículas, concentración, entre otros) y de la alternativa de pretratamiento usada.

Langer *et al.* (1996) reportaron eficiencias de remoción en sólidos suspendidos totales de un tambor rotatorio en el rango de 9.6 a 18.4%. Después de 4 meses de operación continua del tambor, se encontró que este cambió la distribución de tamaños de partícula de los sólidos, resultando en un incremento de los tamaños con menos de 20 μm , los cuales pasaron de 56% en peso seco antes al 67% después. Estos resultados indican la ruptura de las partículas grandes durante el proceso de filtración. Dadas los altos caudales que son empleados en la acuicultura, la aplicación práctica de los discos y/o los tambores rotatorios debe ser realizada con unidades en paralelo, dejando al menos una de reserva por reparaciones o mantenimiento (Cripps y Bergheim, 2000).

Otro medio filtrante reportado en la retención de sólidos suspendidos es la espuma reticulada de poliuretano, de diferentes porosidades (10, 20, 30 y 45 poros/pulgada) (True *et al.*, 2004c). El material viene siendo utilizado en un tipo de filtro patentado llamado Fuzzy Filter® (FF) (Schreiber Technologies, Trussville, AL, USA). La espuma reticulada se caracteriza por presentar una estructura compresible con altos volúmenes de vacío (>90%), lo que la hace apropiada como medio filtrante. Un Fuzzy Filter® es un filtro de alta tasa y medio filtrante compresible, aplicable a la remoción de sólidos suspendidos en aguas residuales. Contiene un medio filtrante compuesto por bolas de fibra sintética de aproximadamente 3cm de diámetro. Los resultados de pruebas a escala de laboratorio y de campo indicaron que el mayor potencial de retención de sólidos lo presenta la espuma reticular con porosidad de 30 poros/pulgada, la cual alcanzó una remoción en sólidos suspendidos totales del 29% y del 11% en fósforo total, usando una tasa de filtración de 3049 L.m⁻¹ .m² (True *et al.*, 2004c).

Separación por métodos gravitacionales

La sedimentación es el proceso mediante el cual partículas en suspensión que presentan una densidad o gravedad específica mayor que la del fluido que las contiene pueden ser removidas de la suspensión y separadas del flujo principal. Este proceso ha venido siendo usado en los canales de flujo rápido (raceway) para la remoción de material suspendido. Los “raceways” son estanques de entre 10 y 30m de longitud, entre 2.5 a 3 m de ancho y entre 0.9 a 1.5 m de profundidad. Cuentan con una zona de entrada en donde el agua cae libremente

permitiendo la re-aeración del agua (Huggins *et al.*, 2004, 2005) y una zona de cría, donde están ubicados los peces que corresponde a la mayor parte del estanque. En la parte final del estanque, separada de la zona de cría por una malla se encuentran la zona de sedimentación, considerada como una prolongación del estanque, con una longitud aproximada de 6 a 10 m.

En la zona de cría de los “raceways”, el alimento suministrado debe permanecer en suspensión el mayor tiempo posible evitando su sedimentación, por lo tanto, la velocidad de flujo, la hidráulica del estanque, la mezcla generada por los peces, así como la densidad de los sólidos, entre otros, son factores importantes a considerar en el arrastre del material suspendido. La zona de sedimentación debe diseñarse con flujo a pistón, en el cual la turbulencia y la resuspensión sean mínimas. Tres funciones deben cumplir: remover efectivamente los sólidos suspendidos, dejar un efluente clarificado y compactar los lodos para su extracción y posterior tratamiento y disposición. Sin embargo, en la práctica se reporta que, debido a los altos flujos generados y a la presencia de cortos circuitos y turbulencia, se presenta la resuspensión del material sedimentado.

De otra parte, el proceso de sedimentación también se presenta en la zona de cría de los *raceways* (Huggins *et al.*, 2004; Huggins *et al.*, 2005; Oca y Masalo, 2007; True *et al.*, 2004b). Esto genera una mayor labor manual para extraer los lodos depositados en esta zona (True *et al.*, 2004b). La introducción de baffles en la zona de cría fue estudiada por True *et al.* (2004b) y Oca *et al.* (2004) para evitar la sedimentación en esta zona. True *et al.*, (2004b) reportan el uso baffles estáticos y móviles para incrementar las velocidades de arrastre de las partículas. Las limitaciones con el uso de baffles estáticos están en la alta mortalidad de los peces debido a episodios de estrés generados por la dificultad de movimiento (Kindschi *et al.*, 1991), además de las limitaciones generadas durante el proceso de captura de los peces. Aunque la utilización de los baffles busca reducir la sedimentación dentro del estanque, promoviendo velocidades de flujo que permitan arrastrar las partículas, los resultados no son los mejores. True *et al.* (2004b) indicaron que las velocidades medias en el estanque sufrieron cambios insignificantes, por lo tanto, la sedimentación en la zona de cría del estanque se presenta independientemente de si existe o no baffles.

Tanques de sedimentación también han sido utilizados en el tratamiento de los efluentes piscícolas. Henderson y Bromage (1988) y Cripps y Bergheim (2000) recomendaron que la

velocidad horizontal de flujo no exceda los 4 m.min⁻¹ y que preferiblemente este en el rango 1.0 a 2.4 m/min. Cargas superficiales en el rango de 1.5 - 3.0 m³/m².h son las más adecuadas para la sedimentación de los sólidos generados en la producción acuícola (Cripps y Bergheim, 2000). Wong y Piedrahita (2000) reportaron que para poder obtener una remoción superior al 80% de los sólidos en acuicultura se requieren de cargas superficiales menores a 0.5 cm/s (0.83 m.min⁻¹).

Control de la contaminación en el estanque

En el cultivo de la trucha tradicionalmente se han empleado diferentes tipos de estanques desde los contruidos en tierra, hasta los canales de agua corriente o más conocidos como *raceways*, sin embargo, la geometría de los estanques incluye solo dos formas circular y rectangular (Oca *et al.*, 2004). En general el uso de los estanques busca ofrecer las mejores condiciones para el adecuado crecimiento del pez y además debe permitir al piscicultor realizar los trabajos, particularmente la separación y cosecha, de manera funcional. Más recientemente se ha iniciado variables como el control de la contaminación como parte del diseño del estanque (Oca y Masalo, 2007).

La longitud de los estanques rectangulares es aproximadamente diez veces el ancho (Blanco, 1995). El agua entra al canal por un extremo y sale por el otro. Este tipo de estanque es más fácil de manejar y limpiar que los circulares (Oca y Masalo, 2007). La zona de cría se debe proyectar para que mantenga las partículas del alimento en suspensión. Teóricamente esto ocurre cuando la velocidad de flujo está en el rango 0.1 a 0.4 m.s⁻¹ (Boersen y Westers, 1986).

En la práctica la sedimentación en la zona de cría se presenta debido a la baja velocidad de flujo (mucho menor a las recomendadas Boersen y Westers (1986) y a una pobre mezcla del agua dentro del estanque (Oca y Masalo, 2007). En los lodos acumulados al interior de este se presenta el proceso de degradación, que compite por el oxígeno disuelto requerido por el pez e incrementa la concentración de los contaminantes disueltos (nutrientes y materia orgánica), lo que crea una distribución no uniforme de los peces dentro del estanque (Watten y Beck, 1987).

Diferentes estudios han sido desarrollados buscando mejorar las condiciones hidráulicas de estos sistemas y evitar la sedimentación en la zona de cría, como por ejemplo evaluación de estructuras de entrada y salida, implementación de baffles rotatorias en los estanques rectangulares, (Oca y Masalo, 2007; Oca *et al.*, 2004; True *et al.*, 2004b; Huggins *et al.*, 2004, 2005) . Si bien el uso de baffles incrementa la velocidad del flujo en algunas zonas del estanque, con lo cual se mejora el transporte de los sedimentos, la sedimentación de las partículas se continúa presentando (True *et al.*, 2004b). De otra parte, True *et al.* (2004b) reportan que para alcanzar la remoción de las partículas de 100 μm , la zona de sedimentación debería ser prolongada a unos 37 a 60 m, lo cual es poco viable desde el punto de vista económico.

En estanques circulares, el agua es inyectada tangencialmente para alcanzar altas velocidades y crear condiciones de flujo mezclado. Este tipo de flujo genera condiciones más homogéneas de calidad de agua en el estanque y una mejor distribución de los peces (Ross *et al.*, 1995). Las altas velocidades crean una condición de auto limpieza, al desplazar los sólidos a la zona central del estanque, donde está la salida (Timmons *et al.*, 1998). Un sistema de drenaje doble se adapta al estanque para obtener dos efluentes, uno que sale de la parte central del fondo del estanque que contiene entre el 5 al 20% del flujo y entre el 80-90% de los sólidos suspendidos, mientras que el otro extrae el flujo y los sólidos restantes, para su recirculación o disposición final (Davidson y Summerfelt, 2004). Su baja utilización en países como España se ha relacionado con limitaciones en la dificultad de manejo del cultivo, baja capacidad de carga y costo elevados (Blanco, 1995).

Varios estudios han venido siendo desarrollados para combinar las ventajas de los estanques circulares y con las del rectangular. Un desarrollo en particular es el denominado “rectangular mixed-cell rearing unit” propuesto por Watten *et al.* (2000). El cual consiste en la formación de celdas de vórtices en estanques rectangulares tipo *raceways*. Esto se consigue distribuyendo el flujo en cuatro partes, a lo largo del estanque, por medio de inyectoras que generan un flujo tangencial en cada celda. El flujo generado en cada celda es comparable con el observado en un estanque circular (Oca y Masalo, 2007; Oca *et al.*, 2004). Las velocidades desarrolladas durante estudios a escala de laboratorio indican que se pueden alcanzar valores

para la auto limpieza de los estanques, pero no tan grandes como para mantener la velocidad de nado del pez (Oca y Masalo, 2007).

3.8. Configuración de los sistemas productivos. Ventajas y desventajas

En la investigación desarrollada por Fernández (2014), el autor indicó que el modelo de estanque diseñado para el contexto colombiano, y en particular para el contexto en zonas de paramo del departamento del Cauca, denominado por el autor como estanque multipropósito, tiene grandes ventajas ambientales respecto del estanque convencional al producir efluentes con menores cargas contaminantes, una reducción del 63% en sólidos suspendidos totales, 39% en nitrógeno total Kjeldhal, un 23% en nitrógeno amoniacal total y el 54% en fósforo total.

Por otro lado, los peces en el estanque multipropósito presentan tasas de crecimiento mayores que en el estanque convencional, con lo cual se reduce el tiempo requerido para llevar los peces desde 110 a 300 g en 33.6 días. Este hecho tiene repercusiones económicas muy importantes porque *disminuye* costos de alimentación, operación, mantenimiento, la cantidad de agua usada, además de dejar los estanques disponibles más rápidamente para un nuevo cultivo. La reducción del tiempo de producción en los estanques multipropósito disminuye el uso del recurso hídrico en un 39% respecto de los estanques convencionales, lo cual es de suma importancia desde el punto de vista ambiental, considerando que la producción de trucha es una actividad productiva de altos requerimientos hídricos, tanto en calidad como en cantidad.

Las ventajas de los estanques multipropósito comparados con los estanques convencionales respecto de producir efluentes menos contaminantes, usar menos agua, producir más biomasa por unidad de tiempo y reducir costos de alimentación, operación y mantenimiento, permiten concluir que la implementación de estanques multipropósito, conjuntamente con sistemas que generen la recuperación del lodo y el tratamiento de los efluentes de lavado, en lugar de la tecnología tradicional de estanques convencionales, genera grandes avances en la producción ambientalmente sostenible de la trucha en el país (Fernández, 2014).

3.9. Marco Regulatorio y Normativo

Generalidades

“La piscicultura continental es una rama de la acuicultura dedicada al cultivo de peces en ríos, lagos, lagunas, estanques artificiales y otras masas de agua no marinas “

La cadena productiva de la piscicultura continental tiene cinco eslabones comunes para las diferentes especies, los cuales son: **Eslabón 1.** Materias primas e insumos **Eslabón 2.** Producción de semilla. **Eslabón 3.** Finca de Cultivo (Levante y Engorde). **Eslabón 4.** Procesamiento. **Eslabón 5.** Comercialización.

En lo que respecta a la formalización de un acuicultor es importante que los mismos cumplan con los requisitos legales y normativos que apunten a los eslabones 2 y 3 para la obtención de los permisos para la formalización de su actividad piscícola.

La formalización es el primer paso para que todo piscicultor pueda desarrollar legalmente su actividad productiva. La formalización le permite al productor no solamente planificar y dimensionar su actividad sino también conocer los impactos Ambientales tanto positivos como negativos que pueden ser generados por el desarrollo de la actividad para identificar las formas de que dichos impactos puedan ser prevenidos, mitigados, corregidos y/o compensados (FEDEACUA, 2018)

Ruta normativa para la formalización piscícola.

La ruta normativa establecida para el desarrollo de la piscicultura continental en Colombia inicia con el trámite de los permisos de concesión de agua, permiso de vertimientos, permiso de ocupación de cauce y permiso de aprovechamiento forestal cuando se requiera (Figura 5).

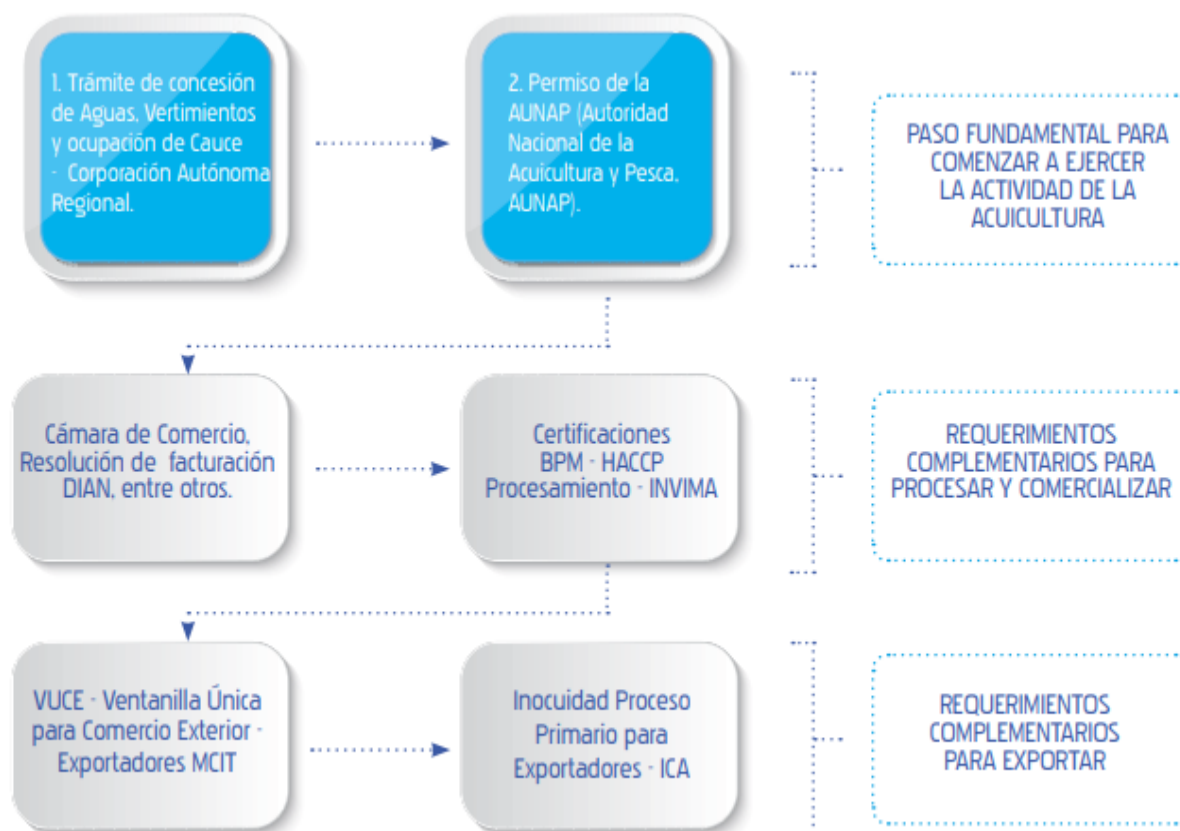
Proceso general para la formalización de la producción primaria

Para formalizar el proceso productivo piscícola primario es necesario que los productores surtan el siguiente proceso descrito en la figura adjunta. Ver Figura 6.

Marco normativo en Colombia

La Tabla 2 presenta el marco normativo aplicado al contexto colombiano en lo que concierne al uso del recurso hídrico para el desarrollo de los proyectos piscícolas, particularmente a la normatividad por concesión de agua y vertimiento de aguas residuales. Ver Tabla 2.

Figura 5. Pasos normativos para la formalización de la actividad piscícola en Colombia.



Fuente: MADR - Cadena de la Acuicultura 2013

Figura 6. Pasos para la formalización de la producción piscícola primaria.



Fuente. Adaptado de FEDEACUA. Cartilla No. 1 (2018)

Tabla 2. Normatividad referida al permiso por concesión y vertimientos de agua.

Norma	Descripción
Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al medio Ambiente
Decreto 1541 de 1978	Establece las condiciones generales para la solicitud de una Concesión de Agua junto con los procedimientos y necesidades del trámite.
Decreto 1594 de 1984	Establece las condiciones de calidad para destino del recurso hídrico

Norma	Descripción
Ley 373 de 1997	Establece los requerimientos y necesidades para realizar el Plan de Ahorro y Uso eficiente de Agua.
Resolución 2202 de 2006	Por la cual se adoptan los Formularios Únicos Nacionales de Solicitud de Trámites Ambientales
Decreto MADS 3930 de 2010	Disposiciones relacionadas con los usos, el ordenamiento y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados. Establece los requisitos generales para el trámite del permiso de vertimientos.
Decreto 2667 de 2012	Por el cual se reglamentan la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.
Resolución MADS 1514 de 2012	Reglamenta los términos de referencia para la elaboración del Plan de Gestión del Riesgo para el manejo de vertimientos - PGRMV. Artículos 15 y 17
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible
Resolución MADS 0631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.
Decreto 1155 de 2017	Modifica el Decreto 1076 en lo relacionado con la destinación de los recursos por concepto de la tasa y otras disposiciones.
Decreto 1571 de 2017	Por la cual se fija la Tarifa mínima de la Tasa por Utilización de Aguas
Resolución 959 de 2018	Adopta la guía nacional de modelación del recurso hídrico para aguas superficiales continentales.
Decreto 050 de 2018.	Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015 en relación con el ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos.

Principales parámetros en la piscicultura continental

La resolución MADS 631 de 2015 exige el muestreo de 53 parámetros de calidad del agua, no obstante, a continuación, se especifican los requeridos con mayor grado de precisión para el proceso productivo en la piscicultura.

FÍSICOS	QUÍMICOS	
• Caudal • Temperatura • Oxígeno disuelto • Conductividad • Sólidos Suspendidos totales. • Sólidos sedimentables	• pH • Alcalinidad Total • Cloruros • Demanda Bioquímica de oxígeno - DBO • Demanda Química de oxígeno - DQO • Dureza Total • Calcio • Hierro Total	• Aluminio • Nitratos • Nitritos • Nitrógeno Amoniacal • Nitrógeno Total • Orto fosfatos (PO4) • Fósforo total • Grasas y aceites

Fuente: Tomado de FEDEACUA (2018)

Los parámetros físicos y químicos relacionados con anterioridad deben ser evaluados aguas arriba de la estación piscícola y aguas debajo de la descarga.

Evaluación de los impactos ambientales

Los impactos ambientales generados por la producción piscícola deben ser evaluados, en especial los del vertimiento pues de acuerdo con el Decreto 50 de 2018, la Evaluación Ambiental del vertimiento deberá contener como mínimo:

- Localización georeferenciada de proyecto, obra o actividad.
- Especificaciones de procesos y tecnologías que serán empleados en la gestión del vertimiento.
- Naturaleza de los insumos productos químicos y formas de energía.
- Predicción y valoración de los impactos que puedan derivarse de los vertimientos puntuales al cuerpo de agua.

Los impactos ambientales comunes generados por la producción primaria de piscicultura se presentan durante la fase de construcción e instalación de producción primaria y la fase de

operación de unidades piscícolas productivas de incubación y alevinaje, granjas de levante y engorde en sistemas cerrados, estanques o embalses.

Impactos generados por la actividad piscícola

El principal impacto generado por la salida del agua de cultivo es el cambio en la calidad del cuerpo de agua receptor de este vertimiento, situación que conlleva a:

- Aumento de la cantidad de fósforo que puede generar procesos de Eutrofización.
- Generación de olores ofensivos.
- Aumento de la cantidad de sólidos presentes en el cuerpo de agua receptor del vertimiento.
- Modificación del pH en el cuerpo de agua.
- Cambio de la concentración de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua.
- Aceleración de los procesos erosivos en el cuerpo de agua producto de la acción del vertimiento.
- Desestabilización de taludes por la construcción de obras para la entrega de agua residual.
- Aumento en la propagación de organismos que pueden transmitir enfermedades infecciosas.
- Alteración en las comunidades de organismos acuáticos como bentos, plancton, fitoplancton, macro invertebrados y otros, por la acumulación de nutrientes en los cuerpos de agua.
- Aumento en la propagación de organismos que pueden transmitir enfermedades infecciosas.
- Modificación del paisaje natural en cuanto a forma y escala cromática por constitución de estructura de vertimiento.
- Cambio de actividades socioeconómicas por las implicaciones que pueda generar el vertimiento.

Además, los principales residuos que pueden modificar la calidad del agua empleada en la producción primaria son:

- Alimento no consumido
- Excretas de los organismos cultivos
- Peces muertos
- Productos químicos para el mantenimiento y limpieza u otros que sean necesarios para el desarrollo de la actividad

Valoración de los impactos ambientales

La valoración de impactos ambientales se refiere a la puntuación que se concede a cada impacto identificado, teniendo en cuenta variables como: intensidad, probabilidad, duración, frecuencia, entre otras; y con base en dicha puntuación se realiza una clasificación que permita generar programas para evitar, controlar o mitigar los impactos.

La Guía de Manejo Ambiental para el Sector de la Piscicultura Continental en Colombia propuesta por la Federación Colombiana de Acuicultores (FEDEACUA) sugiere una metodología cualitativa ajustada a las necesidades y particularidades de esta actividad económica, generada a partir una modificación de la metodología propuesta por Vicente Conesa.

1. **Intensidad (IN)**, del impacto sobre el medio en que se desarrolla, quede ser baja, media, alta o total.
2. **Naturaleza (NA)**, la cual puede ser positiva o negativa, dependiendo si es perjudicial o benéfica para el ambiente.
3. **Extensión (EX)**, relacionada al área de posible afectación por el proyecto; puede ser puntual si es en el área de producción u operativa de la unidad productiva, o puede abarcar el predio de la instalación o puede exceder el área del predio donde se realiza la actividad, es decir que afecta predios y áreas vecinas.
4. **Duración (DU)**, que de acuerdo con tiempo en que se desarrolla el impacto puede ser: fugaz, Temporal o Permanente.
5. **Probabilidad (PR)**, de que ocurra ese impacto puede ser baja, media, alta y de hecho cierto.

También es importante comprender que para el seguimiento y control de la actividad acuícola en los diferentes cuerpos de agua dulce, existen otras regulaciones ambientales a nivel nacional e internacional: el Decreto 438 de 1985, el Decreto 1076 de 2015, la Ley 13 de 1990 reglamentada por el Decreto 2256 de 1991 y la Ley 99 de 1993 título reglamentado por el Decreto 2041 de 2014, así como los documentos emanados por el Departamento Administrativo de la Función Pública (2010) y las Naciones Unidas (2012). Existen varios estudios que tratan sobre la contaminación por el cultivo de peces (Pardo et al. 2006), su impacto y posibles tratamientos (Chaux *et al.* 2013).

3.10. Elementos de la planificación

La planificación

La actividad de planificación es un fenómeno de antigua data, cuyo origen podría encontrarse en el período en que las primeras comunidades nómades se transformaron en sedentarias (alrededor de 10.000 años A.C.) (Morris, 1972). La ocurrencia periódica de ciertos fenómenos naturales, tales como los períodos de siembra y cosecha asociados a lluvias, migraciones de animales, subidas de cauces de ríos, cosechas y otros factores, requería un esfuerzo de establecer patrones de comportamiento de las variables que afectaban la vida en comunidad, encontrando regularidades que podían configurarse como formas previsibles de entender el futuro y, por tanto, anticiparse a este, en un ámbito de mayor complejidad que la mera recolección de datos. Estas primeras expresiones del fenómeno estaban estrechamente relacionadas con el uso del territorio y buscaban controlar la naturaleza en virtud de la necesidad de supervivencia de la comunidad. En ese marco surgieron expresiones de formas de ordenamiento territorial reflejadas, por ejemplo, en asuntos como la localización de las aldeas, el acceso al agua, el uso alternativo del suelo para vivienda, agricultura, pastoreo y disposición de los residuos, entre otros (Sandoval, 2014)

En el lenguaje cotidiano se asume que la planificación se refiere a la “acción y efecto de planificar” y a aquel “plan general, metódicamente organizado y frecuentemente de gran amplitud, para obtener un objetivo determinado, tal como el desarrollo armónico de una ciudad, el desarrollo económico, la investigación científica, el funcionamiento de una industria, etc.” (Real Academia Española, 2011).

El estudio sistemático de la planificación a nivel institucional se estructura de manera científica con los trabajos a fines del siglo XIX de Taylor y Fayol, cuyas propuestas incorporan la noción de “previsión”, asociada a una etapa dentro de un ciclo de administración, tanto en la gestión empresarial e industrial, como en la gestión del Estado. Fayol asume la postura de que “la previsión es calcular el porvenir y prepararse para ello”, incorporando al mismo tiempo la idea que hasta hoy tiene una enorme validez en relación con el Estado: “Gobernar es prever” (Fayol, 1916). Una de las apreciaciones más sencillas del concepto de planificación es la que presenta Matus (1998) enfocándose en el principal aspecto al enfatizar: “La planificación es el pensamiento que precede a la acción”, considerando por tanto que es parte de un proceso y que por ello le corresponde una función de orientación o guía de las otras etapas del ciclo.

Planteamientos similares, que enfatizan en la noción de proceso continuo, asumen que la planificación se entiende como “el conjunto de procedimientos para relacionar lo que se quiere lograr (objetivos), con la forma de lograrlo (estrategia) y los instrumentos de que se dispone para tales propósitos (políticas, programas, presupuestos). En este sentido, la planificación es un ejercicio permanente e iterativo, en tanto desarrolla sus planteamientos y propuestas a través de sucesivas aproximaciones, proponiendo, verificando y retroalimentando las proposiciones iniciales” (Soms, 1995). Al incorporar la temporalidad futura, en la que se sitúa la planificación, se la puede definir “como la aplicación sistemática del conocimiento humano para prever y evaluar los cursos de acción alternativos con vistas a la toma de decisiones adecuadas y racionales, que sirvan de base para la acción futura” (Siedenberg, 2010).

La planificación regional

Esta planificación por lo general adopta los fines asociados al desarrollo de un territorio, dado que el objeto de intervención (un territorio) no está constituido como una organización única y específica, con límites claros y responsabilidades definidas (pública o privada) y, en consecuencia, tiene diferencias conceptuales y metodológicas con la planificación a nivel organizacional.

La planificación local

Dado que la planificación local se puede entender como el impulso de un fenómeno social específico denominado “desarrollo local”, se requiere precisar los alcances y el énfasis metodológico de este concepto, asociado a un proceso social complejo, originado en “una construcción colectiva a nivel local, que tiene como objetivo movilizar los recursos del territorio en torno de un proyecto común e incluir al conjunto de la población” (Casalis, 2009). Al fundamentarse en la interrelación de las variables económicas, sociales, institucionales, geográficas y ambientales, esta planificación incorpora el principio de integralidad.

Una aproximación al concepto de planificación local que resume y distingue este ejercicio de otras formas de planificación, se puede plantear como el proceso consensuado en que la comunidad define sus objetivos de desarrollo futuro y las formas para lograr estos objetivos, en la búsqueda del desarrollo local, entendido como el uso del territorio, sus recursos e intereses en relación con un modelo de su contexto histórico, cultural, económico, institucional y geográfico. La planificación local “se preocupa principalmente por las relaciones entre la comunidad y el cumplimiento de sus intereses” (Carbonell y Seltzer, 2011).

La planificación territorial

En su aplicación práctica, la planificación territorial se presenta como una modalidad de planificación referida a un objeto de intervención denominado territorio y no necesariamente sobre una localidad o una región. Este tipo de planificación es funcional a la definición del territorio, relacionada desde sus orígenes con la idea de dominio o gestión dentro de un espacio determinado (Correia de Andrade, 1996); y por esta razón, estrechamente vinculado a la idea de poder público en todas sus escalas de análisis (Geiger, 1996).

La planificación territorial se asocia a materias tales como: la relación urbano–rural; la planificación de cuencas hidrográficas; la planificación de la gestión de riesgos, y aspectos físicos de la planificación, como la infraestructura y localización de las actividades, zonificaciones, entre otros.

Dimensiones de la planificación

Estas pueden ser descritas de modo general como dimensiones metodológicas de la planificación. La primera de estas se orienta a aspectos vinculados principalmente al desarrollo, incluidos los tradicionales factores económicos, sociales, institucionales y/o culturales. La segunda dimensión es físico-espacial y ha estado asociada a disciplinas relacionadas con el ordenamiento territorial, la infraestructura, la zonificación y el uso del espacio.

Planificación sobre la base de metodologías

Planificación normativa: Su énfasis está en “la ordenación en el tiempo del desarrollo de proyectos, programas y medidas de política conducentes a lograr los objetivos globales de la estrategia de desarrollo” (ILPES, 1982). La planificación normativa por lo general se caracteriza por la elaboración de diagnósticos completos, para procurar entender de la forma más profunda la región o territorio a intervenir. Usualmente se formula utilizando mecanismos denominados “técnicos” en los que intervienen preferentemente expertos en las áreas a planificar.

A nivel local, la aplicación de la planificación normativa se ha expresado principalmente en los planes reguladores o planes directores (también denominados planes de uso del suelo, de ordenamiento territorial o planes urbanísticos). Estos instrumentos asumen por lo general un alto grado de obligatoriedad en su aplicación, pues se configuran como normas o leyes locales

Planificación por etapas: El método de planificación por estadios o etapas (planning in stages) fue desarrollado por Jan Tinbergen sobre la base de la invitación hecha por el Banco Mundial a mediados del siglo XX, para especificar un conjunto de herramientas que contribuyeran a definir objetivos de desarrollo económico más realistas en relación al contexto latinoamericano (Kol y De Wolff, 1993). La propuesta consiste en la definición de un conjunto de pasos interactivos y/o cíclicos, basados en el teorema matemático según el que un problema complejo, bajo ciertas condiciones, puede ser resuelto por pasos consecutivos, más que por pasos simultáneos (Puttaswamaiah, 1996).

Desarrollo rural integrado: La propuesta del desarrollo rural integrado (integrated rural development), también denominada el enfoque Rehovot. La metodología de planificación toma en cuenta aspectos políticos, sociales, organizacionales y económicos para responder a la necesidad de planificar acciones en el terreno, con base a un esquema eminentemente normativo, aunque con interesantes ejercicios participativos (Terry Gregorio, 2007).

Modelos de planificación basados en sistemas

Al caracterizar las metodologías que representan una modalidad sistémica aparece un conjunto de propuestas principalmente de nivel regional, desde las que se interpreta la complejidad del desarrollo a partir de la teoría general de sistemas. Estos enfoques se sustentan en los trabajos de autores como Beer (1959).

Planificación estratégica: la planeación estratégica está centrada principalmente en el análisis en mayor profundidad de las condiciones del entorno para anticiparse al surgimiento de cambios y la aparición de nuevas tendencias, reduciendo incertidumbres y generando una condición de adaptación constante y positiva de las acciones internas y las tendencias externas, a fin de aprovechar oportunidades y reducir riesgos (De Forn i Foxá y Pascual i Esteve, 1995, citado en Gutiérrez Chaparro, 2000).

Desde el punto de vista del lenguaje, lo estratégico es el dicho “de un lugar, de una posición, de una actitud, etc.: de importancia decisiva para el desarrollo de algo” (RAE, 2011). En palabras de Medina-Echeverría, la estrategia es la “adopción de un curso de acción o de los criterios que lo definen encaminados a influir en una transformación deliberada de la realidad, desde una situación inicial a la situación final hasta un estado final que se define como deseable” (Medina Echeverría, 1977).

Como una forma de articular la relación de las condiciones externas e internas, el modelo de planificación estratégica se apoya en el uso de la matriz de fortalezas, oportunidades, desafíos y amenazas (FODA), que, por lo general, alimenta el diagnóstico conjugando la condición de análisis del entorno en relación con las propias condiciones que caracterizan esta metodología.

Planificación participativa: este enfoque se constituye por un conjunto de métodos y herramientas, que pueden ser usadas en mayor o menor medida, con el objetivo de integrar a los actores involucrados en el desarrollo en el proceso de planificación de un territorio.

La planificación participativa tiene una variedad de aspectos positivos que potencian una propuesta orientada al desarrollo local basado en el enfoque endógeno, puesto que existe mayor probabilidad de que el grado de involucramiento de la comunidad genere un menor costo en la aplicación de las estrategias definidas, de igual modo que la detección de los problemas y las potencialidades del territorio están mejor definidas. Es importante señalar que esta modalidad, evidentemente, considera un mayor esfuerzo y costos asociados al proceso de planificación, tanto en recursos financieros necesarios para desarrollar el plan, como en recursos humanos calificados que puedan guiar el proceso adecuadamente, y en materia de tiempo destinado a la elaboración del plan.

La planificación local participativa se entiende como la aplicación de los procedimientos y metodologías de la planificación al contexto local, donde destaca una amplia utilización de los métodos de participación comunitaria y apropiación social (Plaza, 2000).

Una modalidad de planificación participativa de corto plazo asociada al financiamiento del desarrollo local son los presupuestos participativos, entendidos como aquellos instrumentos para la toma de decisiones compartida del Estado y la sociedad civil, en referencia a acciones a ejecutar con el fin de cumplir la visión de desarrollo contenida en los instrumentos de planificación local.

Metodología

La planificación participativa tiene un conjunto de etapas, que coinciden con los modelos tradicionales de planificación estratégica o incluso normativa. Son las siguientes:

Preparación y organización: la prioridad es establecer las condiciones para la ejecución de las actividades que permiten la elaboración del plan. Las actividades que se desarrollan son las siguientes:

- Identificación del marco conceptual y metodológico que será aplicado en el ejercicio de planificación.
- Identificación e involucramiento de los actores, para lograr al final de esta fase contar con una institucionalidad como un “consejo ciudadano de planificación”.
- Organización del proceso. Mediante la modalidad de talleres participativos municipales se confecciona un plan de trabajo concertado y se firma el convenio formal de ejecución entre los equipos técnicos, los actores clave representantes de la comunidad y las autoridades locales.
- Promoción del proceso y conformación del equipo técnico. Se define e inician las actividades de la estrategia comunicacional junto con la selección de los facilitadores del proceso participativo.
- Capacitación a facilitadores en las técnicas de moderación y las fases metodológicas que serán aplicadas en las diferentes fases del proceso de planificación participativa.

Diagnóstico, incluye las siguientes fases:

- Recopilación, sistematización y análisis de la información existente.
- Realización de autodiagnósticos vecinales y/o comunales.
- Levantamiento de información complementaria.
- Consolidación y análisis técnico de la información a nivel distrital y municipal.
- Validación de la información sistematizada.
- Análisis de la situación municipal.
- Realización de las mesas ciudadanas temáticas y/o sectoriales.

Formulación de la estrategia de desarrollo: esta etapa tiene como finalidad definir los objetivos, las estrategias y las prioridades de desarrollo a nivel local sobre la base de los antecedentes recogidos en el diagnóstico y a las demandas comunitarias.

- Definición de la visión estratégica del desarrollo municipal. Vocaciones, objetivos y estrategias definidas. Para la definición de las vocaciones se utiliza una matriz de fortalezas y debilidades por sector junto con el uso de la matriz FODA.
- Sistematización de aspiraciones comunales a nivel distrital, deseos de la comunidad sistematizados.
- Definición de las demandas barriales y de las demandas diferenciadas por zonas dentro del municipio.
- Elaboración de fichas de ideas de proyecto y sistematización de demandas distritales. Se definen ideas de proyectos o programas, que se plantean como alternativas a las propuestas.

Concertación y priorización de la demanda municipal, en donde se priorizan las ideas de programas.

- Programación quinquenal y elaboración de la estrategia de ejecución del plan. Se plantean las propuestas y demandas en un horizonte temporal de cinco años y se redactan las estrategias.
- Consolidación y redacción preliminar del plan.
- Validación de la propuesta de plan mediante talleres comunitarios.
- Redacción final y edición del plan. • Aprobación del plan mediante los instrumentos legales o normativos acordes a la institucionalidad de cada país.
- Publicación y difusión del plan.

Ejecución y administración del plan: en esta aproximación metodológica se incorpora la ejecución dentro del proceso de planificación y para ello se emplea un instrumento denominado “Programaciones Anuales de Operaciones” (POA), que se puede asimilar a una planificación a nivel operativo o táctico.

Seguimiento, evaluación y ajuste: esto se efectúa mediante el uso de los POA y los proyectos definidos, identificando las posibles correcciones al plan y las adaptaciones necesarias.

5. OBJETIVOS

5.1.Objetivo General

Diseñar estrategias integrales para prevenir y mitigar la contaminación causada por la producción de la trucha arcoíris (*Oncomynchus mykiss*) en la Subcuenca Alta del río Piendamó mediante un proceso participativo.

5.2.Objetivos Específicos

- Identificar los focos de contaminación provocados por la producción de trucha arcoíris (*Oncomynchus mykiss*).
- Caracterizar los focos de contaminación con el fin de evaluar los impactos ambientales provocados por la producción de trucha arcoíris (*Oncomynchus mykiss*).
- Proponer estrategias para prevenir y mitigar la contaminación provocada por la producción de trucha arcoíris mediante un proceso participativo comunitario.

6. METODOLOGIA

Para alcanzar los objetivos propuestos en la presente investigación se desarrolló la siguiente ruta metodológica:

Fase I. Identificación del Territorio.

La fase de diagnóstico para la cuenca permitió desarrollar actividades que conllevan al alcance del **Objetivo Específico 1: Identificar los focos de contaminación provocados por la producción de trucha arcoíris (*Oncomynchus mykiss*) mediante análisis espacial y trabajo de campo.** Las actividades desarrolladas fueron:

- ❖ **Actividad 1:** recorridos de evaluación e identificación de factores críticos de contaminación.

Estos recorridos se realizaron de acuerdo con el cronograma de recorridos, para lo cual se inició en el nacimiento de la cuenca y posteriormente en las zonas de menor altura donde se encuentran las piscifactorías de la comunidad en estudio (). El cronograma para llevar a cabo dicha actividad se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3 Cronograma de recorridos

Zonas de Recorrido	Fecha	Responsables
Páramo	26/diciembre/2022	Tesista
Piendamó Arriba	28/diciembre/2022	Tesista
Pueblito	29/diciembre/2022	Tesista
Michambe	30/diciembre/2022	Tesista
Guambia Nueva	03/enero/2023	Tesista

Figura 7 Zona alta del Territorio de Guambia, Silvia (Cauca)



Fuente: Plan de revitalización del Territorio (2011)

❖ **Actividad 2:** formulación de encuestas.

Los recorridos realizados suministran información relevante con la cual se calcula una muestra estadísticamente representativa para con ello implementar una encuesta y de esta manera determinar los puntos críticos de la contaminación asociados a la producción de la trucha mediante análisis estadístico.

Lo anterior permite obtener una muestra representativa para proceder con las encuestas a los productores seleccionados del presente estudio, para lo cual se utiliza la ecuación (1) que conlleva al cálculo de ésta, así:

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

N = Tamaño de la población.

Z = Nivel de confianza del 50% de la población.

e = Error aceptado.

p = Probabilidad de ocurrencia del evento. **q** = Probabilidad de no ocurrencia del evento.

Para determinar la muestra se utiliza como insumo la información suministrada por la Autoridad Tradicional Misak con las estaciones piscícolas que producen la trucha sobre la subcuenca hídrica río Piendamó.

Teniendo la muestra estadística, se procedió a realizar la encuesta que fue diseñada con el fin de dar respuesta a las principales causas que provocan la contaminación hídrica sobre la subcuenca y que está asociada a la forma de producir la trucha. Ver Figura 8.

❖ **Actividad 3:** sensibilización con la comunidad en lo referente a las causas de la contaminación.

En esta actividad se desarrollaron talleres con los productores de la trucha, además de vincular escuelas, colegios e instituciones que están presentes sobre la subcuenca hídrica.

En estos talleres se abordaron las problemáticas y expectativas que tiene la comunidad afectada, además de visualizar las posibles soluciones. Para la implementación de los talleres se implementaron técnicas de participación comunitaria. Ver Figura 9.

❖ **Actividad 4:** desarrollo de mapas de caracterización.

Los mapas se elaboraron en la herramienta computacional ArcGis partiendo de información obtenida durante los recorridos. Para este caso se recurrí a información de la Autoridad Ancestral y se realizó la georreferenciación de las estaciones piscícolas con el fin de determinar la distribución temporal y espacial de la contaminación hídrica provocada por las piscifactorías.

Figura 8. Formato de encuesta

	FORMULARIO PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN ASOCIADA A LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA POR LA PRODUCCIÓN DE TRUCHA	
Resguardo Indígena de Guambía Municipio de Silvia, Cauca Año 2023		
1. INFORMACIÓN PERSONAL Y UBICACIÓN		
Nombre del Productor: _____		C.C./T.I. _____
Zona o Vereda: _____		Edad: _____
Escolaridad: _____		Genero: _____
Estado Civil: _____		Celular: _____
Pregunta N°1: ¿Cuántas personas componen el núcleo familiar?		
a) 2 - 4	b) 4 - 8	c) 8 - 10
d) Más de 10		
2. ACTIVIDAD ECONÓMICA DE LA FAMILIA		
Pregunta N°2: ¿Cuál es la principal actividad económica del núcleo familiar?		
a) Piscícola	b) Ganadería	c) Agrícola
d) Fresas	e) Artesanías	
Pregunta N°3: ¿Qué tan rentable le resulta la actividad piscícola?		
a) 10%	b) 20%	c) 30%
d) 50%		
3. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL CULTIVO DE TRUCHA		
Pregunta N°4: ¿Las instalaciones para la producción del cultivo de trucha son?		
a) Propias	b) En alquiler	c) En asocio
Pregunta N°5: ¿Las instalaciones son en qué tipo de material?		
a) Cemento	b) Tierra	c) Piedra
Pregunta N°6: ¿Con cuántos estanques cuenta para la producción?		
a) 1 - 2	b) 3 - 5	c) 6 - 10
d) Mas de 10		
Pregunta N°7: ¿Cuántas unidades de peces maneja en la piscicultura?		
a) 1.000 a 5.000	b) 6.000	c) 10.000
d) 15.000 o más		
Pregunta N°8: ¿Cuál es la producción mensual?		
a) Menos de 100 kg	b) 100 a 500 kg	c) 500 - 1500 kg
d) 2000 kg		
4. ASPECTOS TÉCNICOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LA TRUCHA		
Pregunta N°9: ¿Cuál es la cantidad de agua utilizada en su estación piscícola?		
a) 20 Lt/kg	b) 20 - 30 Lt/kg	c) 30-40 Lt/kg
d) Mayor a 50 Lt/kg		
Página 1		

Figura 9 Talleres comunitarios



❖ **Actividad 5:** análisis exploratorio.

Con estos insumos se buscó clasificar las problemáticas conforme a los actores que están vinculados de forma directa e indirecta con la contaminación hídrica, además de evaluar la calidad del proceso productivo con el fin de identificar otros aspectos que podrían ser importantes para la planificación futura de una producción ambientalmente sostenible.

Fase II. Caracterización de la contaminación hídrica.

En relación con el **Objetivo Específico 2:** *caracterizar los focos de contaminación con el fin de evaluar los impactos ambientales provocados por la producción de trucha arcoíris (*Oncomynchus mykiss*)*, se desarrollaron las siguientes actividades:

❖ **Actividad 1:** sistematización de la información.

La sistematización de la información se desarrolló en la herramienta computacional Microsoft Excel para con ello obtener el comportamiento de las variables definidas en el análisis estadístico.

❖ **Actividad 2:** análisis estadístico.

El análisis estadístico permitió comprender el comportamiento de las variables que tienen mayor afectación sobre la contaminación hídrica y por ende las razones que conllevan a la persistencia de estas afectaciones ambientales.

❖ **Actividad 3:** cuantificación de las variables.

La medición de las variables permitió cuantificar valores porcentuales y las respectivas tendencias que el proceso productivo tiene en la actualidad y sus proyecciones en el futuro, lo cual permite tener elementos importantes para la toma de decisiones alrededor de la subcuenca hídrica.

❖ **Actividad 4:** caracterización de los focos de contaminación.

Para la caracterización de los contaminantes asociados a la producción piscícola en la subcuenca alta del río Piendamó se parte de los análisis desarrollados por Fernández (2014), quien evaluó y caracterizó los parámetros de la calidad del agua en 10 estaciones piscícolas del Departamento del Cauca, entre los cuales se encuentra información de estaciones piscícolas del Municipio de Silvia que vierten sus aguas residuales sobre la subcuenca hídrica en estudio.

Es fundamental mencionar que de acuerdo con Fernández (2014) “La selección de las piscícolas a evaluar incluyó los siguientes criterios: cantidad de producción mensual (se dividieron en tres grupos: más de dos toneladas, entre 1 y dos toneladas y menor a una tonelada), material del estanque (tierra o concreto), tipo de estanque (circular, rectangular, otro). Se buscó que al menos una o dos estaciones cumplieran con estos criterios”. Ver Tabla 4.

Tabla 4 Parámetros de calidad medidos en 10 estaciones piscícolas del Cauca

Parámetro	Entrada	Salida	Procedimiento Standard Methods 1998[10]
Caudal	X		Molinete*
Oxígeno Disuelto	X	X	4500-O G
pH	X	X	4500 H
Temperatura	X	X	
DBO ₅	X	X	2510 B
Sólidos suspendidos	X	X	2540 D
Fósforo total	X	X	4500-P C
Nitrógeno orgánico total	X	X	4500- NH _{org} B

*A.O.T.T. Kempton con hélice No 5 y contador Z-30

Fuente: tomado de Fernández (2014)

Fase III. Construcción concertada de políticas.

En relación con el **Objetivo Especifico 3:** *proponer estrategias para prevenir y mitigar la contaminación provocada por la producción de trucha*, se tuvieron las actividades:

- ❖ **Actividad 1:** sensibilización con la comunidad en lo referente a las causas de la contaminación.

En lo concerniente a esta actividad, se desarrollaron entrevistas con líderes productores de trucha además de reuniones con los actores de toma de decisiones como son la Alcaldía Municipal, el Cabildo Indígena y juntas de acción comunal.

❖ **Actividad 2:** análisis y evaluación de políticas.

Para el desarrollo de esta actividad se partió de las políticas establecidas en la política ambiental del territorio Misak. Para ello se cuenta con el plan de vida cultural y el plan ambiental Misak construido desde el año 2011 por las autoridades de dicha vigencia.

❖ **Actividad 3:** evaluación de las amenazas al río provocadas por el cultivo de trucha.

Las amenazas a la fuente hídrica se evaluaron desde la perspectiva de la producción y de los factores de diseño para la construcción de estanques. Además, se realizó un análisis que permite definir las principales variables asociadas a la contaminación por las piscifactorías con base en el estado del arte.

❖ **Actividad 4:** definición de políticas y estrategias para la protección del río.

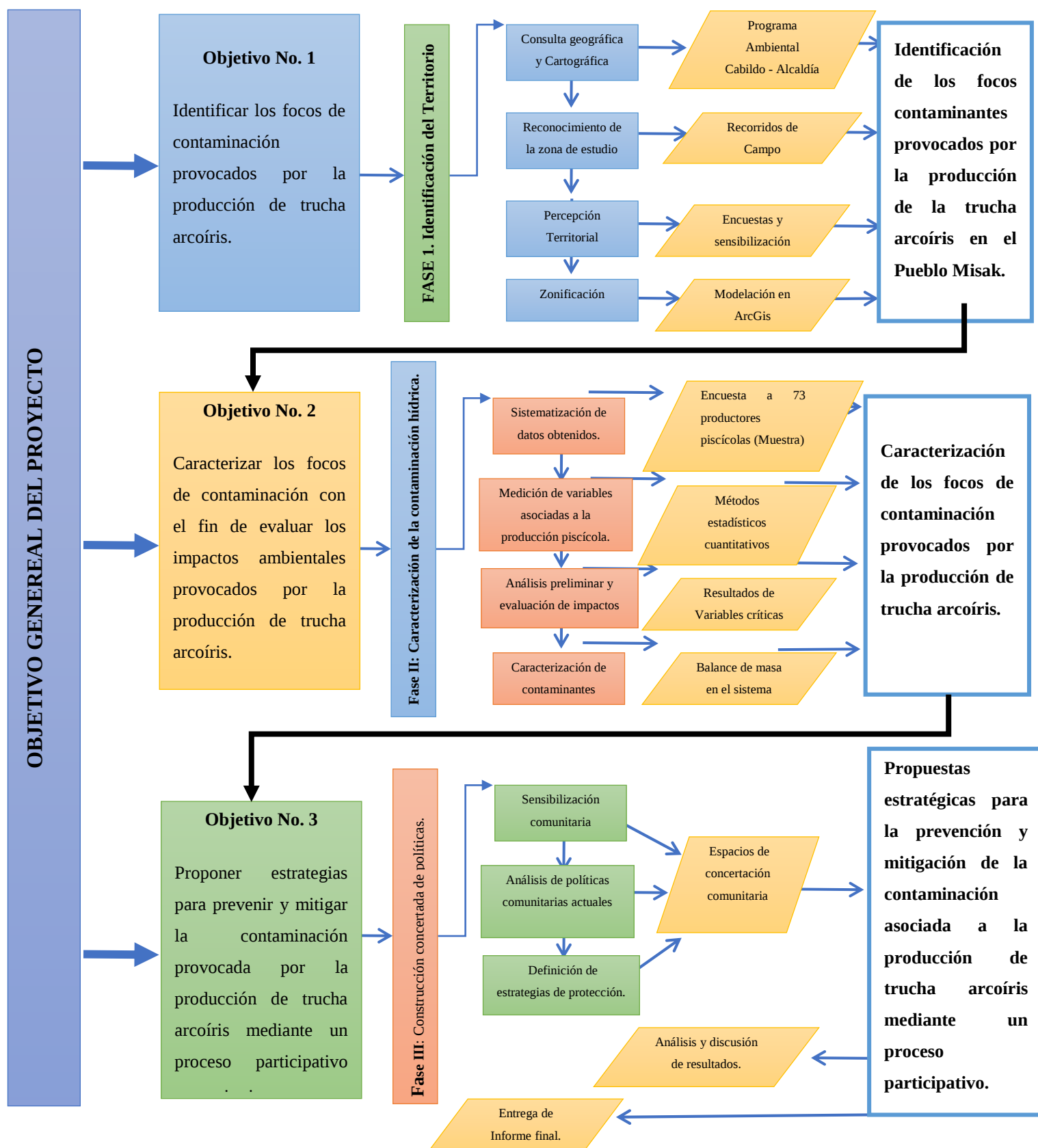
La definición de las políticas para el cuidado y la conservación de la fuente hídrica se construyó con la participación de la población en general; para ello se desarrollaron mingas de pensamiento que conllevaron a la formulación de una política integral y sostenible sobre el recurso hídrico.

❖ **Actividad 5:** herramientas de acción participativa.

Se utilizaron herramientas de acción participativa buscando promover la participación comunitaria de la población afectada, entre estas se encuentran espacios de reflexión con asociaciones de productores y con la Autoridad Ancestral.

A continuación, se presenta de forma general el esquema metodológico que resume lo anteriormente descrito. Ver Figura 10.

Figura 10 Esquema metodológico



7. RESULTADOS

7.1. Resultados del Objetivo 1

7.1.1. Identificación del Territorio

La identificación del territorio se realizó mediante los recorridos sobre la zona de estudio y la caracterización geoespacial de las estaciones piscícolas que provocan la contaminación hídrica sobre el cuerpo de agua.

7.1.1.1. Recorridos en la zona de estudio

Los recorridos realizados sobre la zona alta de la subcuenca del Río Piendamó arrojaron como resultado la identificación de los siguientes aspectos propios de la producción piscícola en el resguardo indígena Misak o Guambiano. Ver Tabla 5.

Tabla 5 Parámetros de la producción piscícola en el Resguardo Indígena de Guambia

Número de estaciones Piscícolas	Número de estanques	Espejo de agua (m ³)	Aforo (pulg ³)	Numero de peces	Desinfección
73	230	23.353	251	350.235	Químicos Sal marina

En cuanto a los factores críticos de la contaminación, se observan distintos aspectos que están ligados a la construcción de las piscifactorías y también al manejo inadecuado del cultivo, ya que se carece de buenas prácticas para la producción de los animales esto debido al bajo conocimiento sobre las principales variables que contribuyen con la mitigación de la contaminación y que recaen en la dieta, el mantenimiento de las instalaciones y los tiempos requeridos para la extracción de los lodos, fuente principal de la contaminación hídrica asociada a la producción piscícola. Sobre las construcciones, se observan diseños de piscifactorías muy antiguos, sin mejoras y pocos tratamientos al agua de entrada y salida, pues se carece de tecnología adecuada. Ver figura 11.

Figura 11 Tecnología actual utilizada en las piscifactorías de la zona en estudio



Entre las inadecuadas prácticas para el proceso productivo del cultivo de trucha, se observa que las familias no retiran de forma continua los residuos generados en el interior de las pisciculturas (lodos), pues algunos manifiestan que el lavado de estaciones se realiza cada 15 o 20 días. Esto último provoca que los residuos se acumulen de forma permanente y en cierta medida provoquen mayor contaminación sobre el recurso hídrico.

Además, como se puede observar, el espacio de las piscifactorías es limitado y esto conlleva a que no se designe un espacio adecuado para el retiro de lodos y su posterior tratamiento. Ver figura 12.

Figura 12 Limitación de espacios para la producción piscícola



7.1.1.2. Definición de la muestra

Posteriormente a los recorridos, se inició la formulación de las encuestas, mediante el uso de la ecuación (1) que permite obtener una muestra estadística representativa con los datos obtenidos en la actividad 1. Para encontrar la muestra (n) se utilizaron los datos presentados en la Tabla 6.

Tabla 6 Parámetros para la obtención de la muestra estadística

N	Z	e	p	q
73	0.674	2.5%	50%	50%

Reemplazando los valores en la ecuación (1) se tiene que la muestra (n) es igual a:

$$n = \frac{73 \cdot 0.674^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{0.025^2 \cdot (73 - 1) + 0.674^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}$$

Por lo cual la muestra es de:

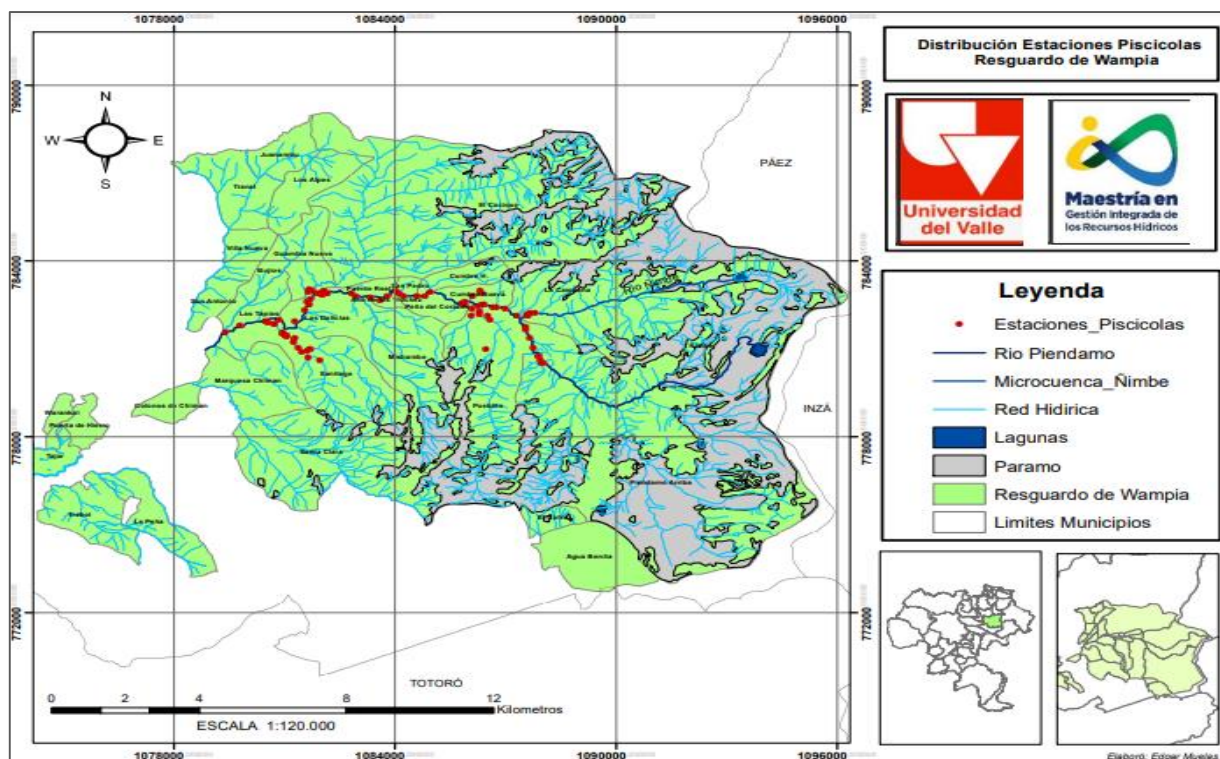
$$n = 52$$

Esta última información permite delimitar un número importante para el desarrollo de las entrevistas y/o cuestionarios, por lo que, de acuerdo con los cálculos obtenidos la muestra para tener en cuenta es de 52 productores.

7.1.1.3. Desarrollo cartográfico

Los recorridos realizados permitieron identificar la ubicación espacial de las estaciones piscícolas sobre la subcuenca hídrica para con ello georreferenciarlas en la herramienta computacional ArcGis. Ver Figura 13.

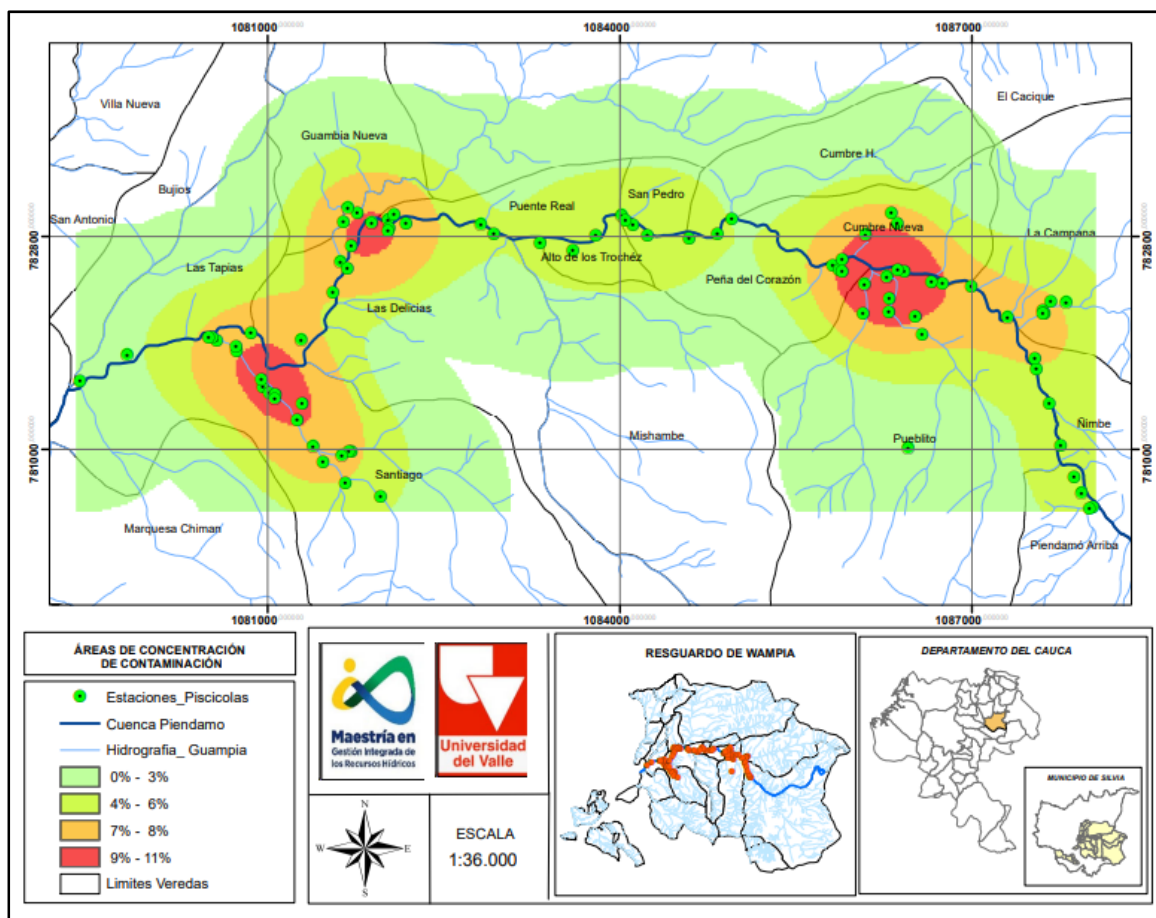
Figura 13 Distribución espacial de las estaciones piscícolas



Por otra parte, para representar el impacto negativo de las pisciculturas sobre la calidad del agua se desarrolló un mapa de calor con sus respectivas leyendas, siendo el color rojo el de mayor impacto sobre la fuente hídrica y verde la de menor impacto.

Este mapa se desarrolló en función de la ubicación geoespacial de las piscifactorías y de las cantidades de peces producidos, razón por la cual se observa una mayor concentración de la contaminación hídrica en las zonas de mayor producción piscícola y del número de estaciones presentes en el sector o zona georeferencial. Ver Figura 14.

Figura 14 Distribución de la contaminación hídrica asociada al cultivo piscícola



7.2. Resultados del Objetivo 2

7.2.1. Caracterización de la contaminación asociada al cultivo de la trucha

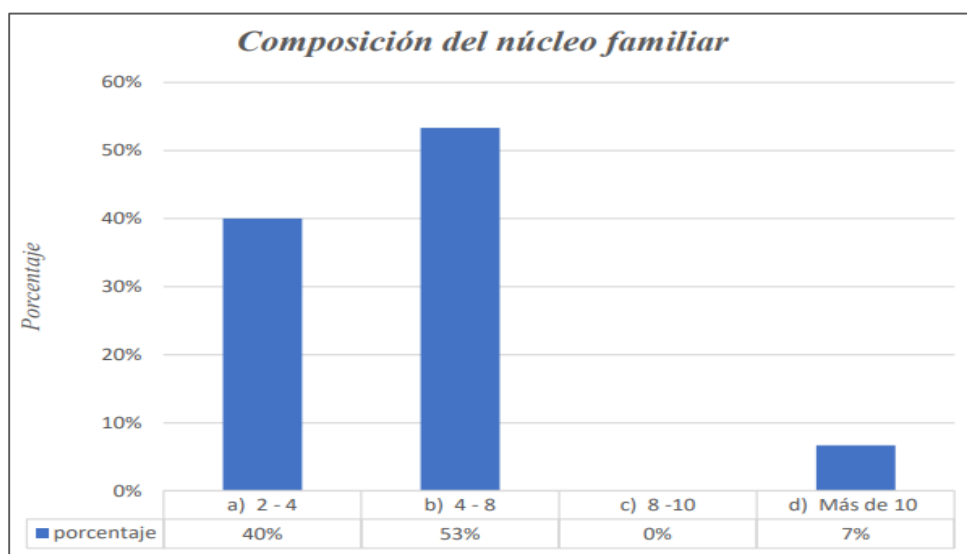
La información obtenida en las encuestas es sistematizada en la herramienta Microsoft Excel con el fin de caracterizar las variables del proceso productivo que conllevan a la contaminación hídrica en la parte alta de la subcuenca del río Piendamó, zona en la que una parte de la comunidad Misak desarrolla el cultivo de trucha como alternativa económica para el sostenimiento del hogar. Parte de la información sistematizada se presenta a continuación:

7.2.1.1. Información personal de las familias

De acuerdo con la información recolectada, en el Gráfico 1 se determina que la población que se beneficia de la producción piscícola sobre la subcuenca del río Piendamó está

compuesta por familias entre 4 a 8 personas con un equivalente al 53% y un 40% para núcleos familiares de 2 a 4 personas por familia, principalmente.

Gráfico 1 Composición familiar de los productores piscícolas



7.2.1.2. Actividad económica de las familias

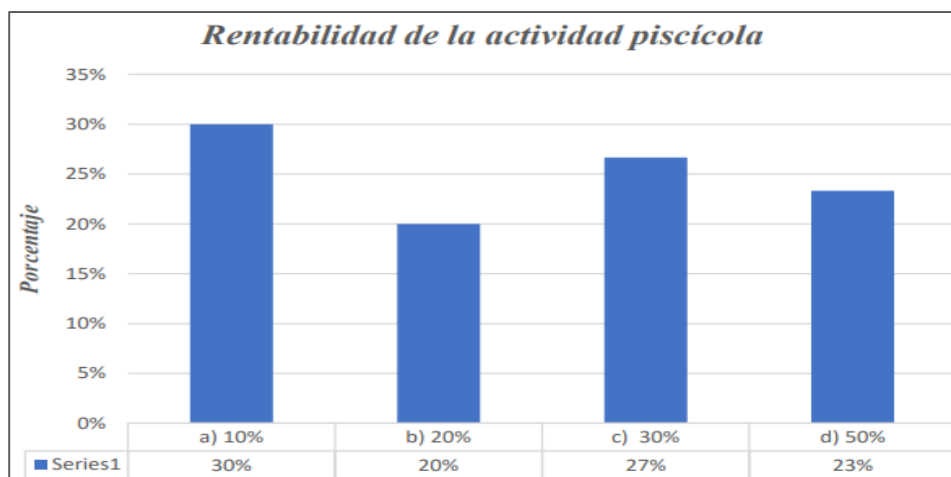
La actividad piscícola es realizada por el 90% y la agrícola por un 10%. Ver Gráfico 2.

Gráfico 2 Actividad económica de las familias encuestadas



Por otra parte, las familias manifiestan que las ganancias sobrepasan los 10%, 20%, 30% y 50% respectivamente, por lo que este es el principal argumento para sostener la actividad económica. Ver Gráfico 3.

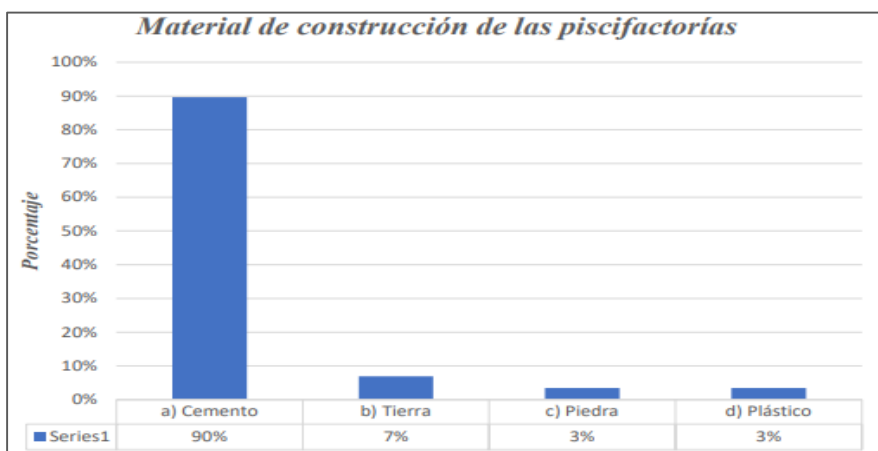
Gráfico 3 Resultados porcentuales sobre la rentabilidad del cultivo



7.2.1.3. Información general sobre el cultivo de trucha

Respecto a los materiales utilizados para la construcción de los estanques, se tiene que la mayoría de la infraestructura es construida en cemento (90%) mientras que existen otros materiales comunes y que son utilizados en menor proporción. Ver Gráfico 4.

Gráfico 4 Materiales utilizados para la construcción de las piscifactorías



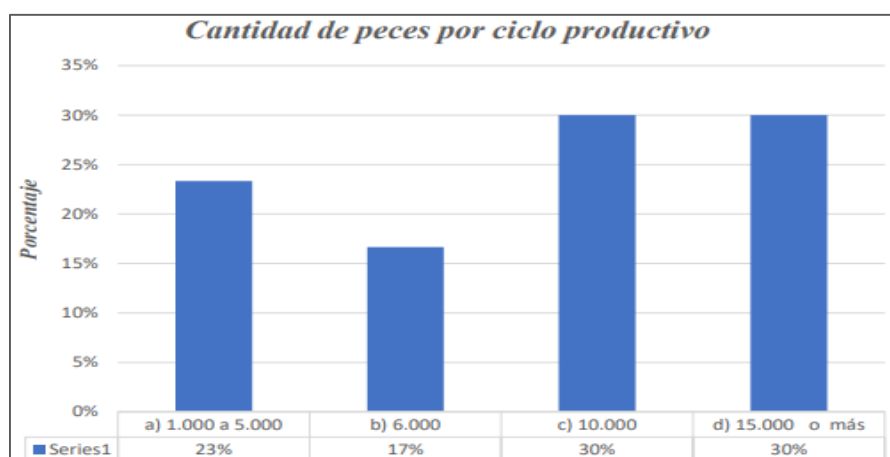
Por otro lado, es importante resaltar que el número de estanques utilizados en la producción del cultivo supera cantidades mayores de las 6 unidades por piscifactoría, lo que indica que el uso del recurso hídrico se realiza en altas proporciones, y lo que es aún más grave, sin tratamiento alguno para la conservación natural del mismo. Ver Gráfico 5.

Gráfico 5 Número de estanques usados por estación piscícola.



Lo anterior se reafirma al observar que la mayoría de las familias produce cantidades considerables de la especie en estudio, pues la producción se realiza de los 1.000 peces en adelante según el Gráfico 6.

Gráfico 6 Producción de peces por estación piscícola

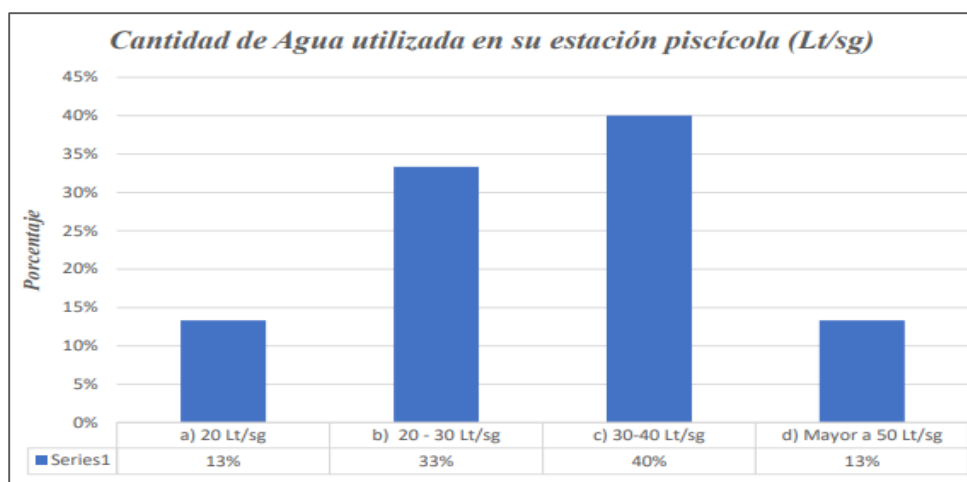


Por otro lado, el Gráfico 7 presenta que la cantidad de agua utilizada por estación piscícola supera los 20 litros por segundo (lt/sg) con un porcentaje del 20% y de ahí en adelante con rangos de 20 a 30, 30 a 40, y mayor a 50 litros por segundo (lt/sg) con porcentajes del 33%, 40% y 13% respectivamente.

En lo que respecta a la calidad y cantidad del recurso hídrico utilizado en la producción, este posee una mejor calidad buena en la zona alta del nacimiento de la subcuenca, sin embargo,

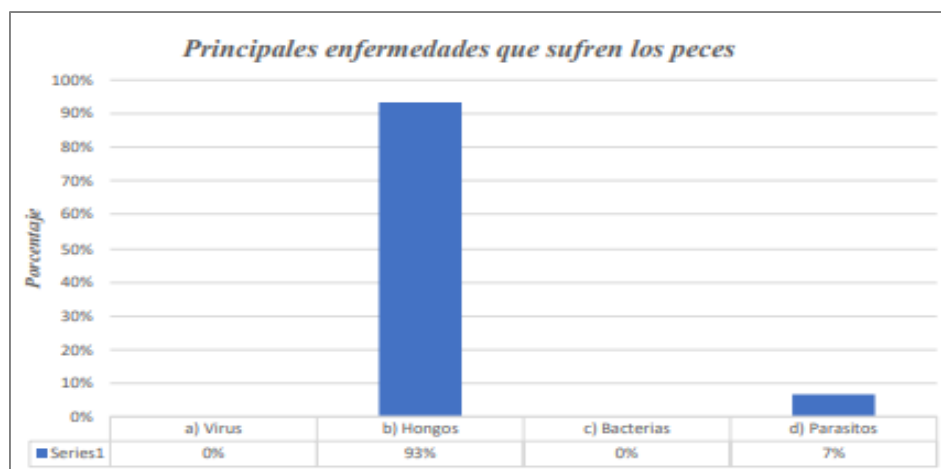
su calidad se ve afectada a lo largo de su recorrido puesto que la fuente es reutilizada para la producción en serie en las distintas estaciones piscícolas y sobrecargada por las aguas servidas de los hogares que vierten estas aguas a la fuente hídrica. Por esta razón, la fuente abastece las estaciones piscícolas sin tratamiento alguno y el consumo humano es riesgoso para la población aguas abajo.

Gráfico 7 Agua utilizada por estación piscícola



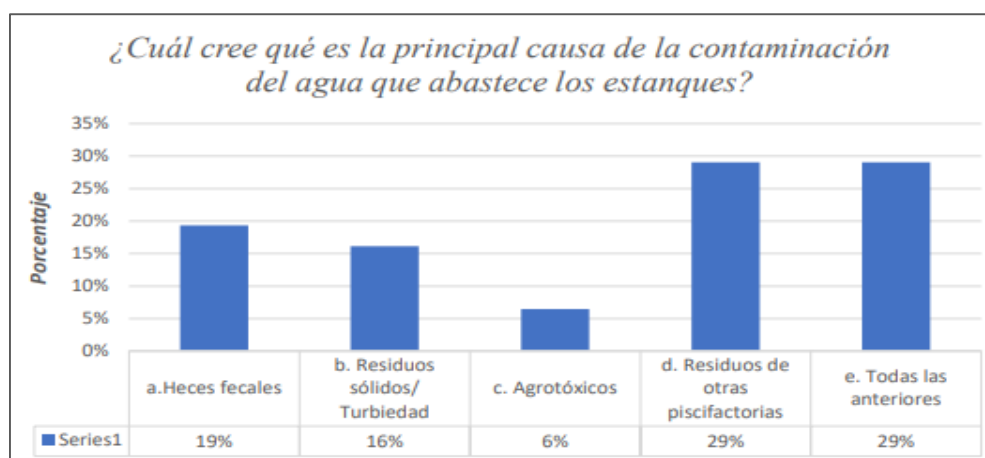
La comunidad manifiesta que la enfermedad de mayor presencia es los hongos, que consisten en una mancha blanca la cual aparece sobre la piel de los peces y que consideran que es debida a la contaminación hídrica. Ver Gráfico 8.

Gráfico 8 Principales enfermedades presentes en los peces de la zona en estudio



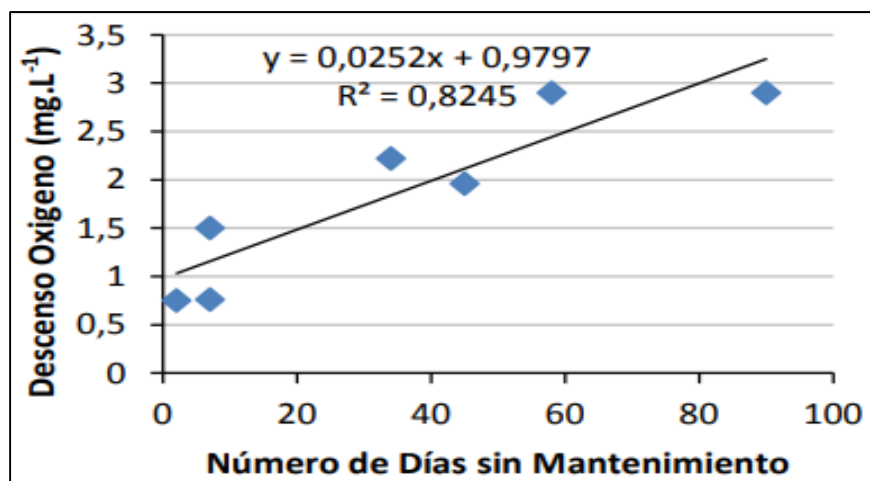
La población manifiesta que la principal causa de la contaminación del agua es debida en su gran mayoría a los desechos que son producidos en las piscifactorías aguas arriba con un equivalente porcentual del 29%, además de las heces fecales y de los agrotóxicos con 19% y 6%, respectivamente. Sin embargo, otro porcentaje que también es importante en la consideración es debido a la combinación de todos los anteriores factores y equivale al 29%. Ver Gráfico 9.

Gráfico 9 Principales causas de la contaminación hídrica



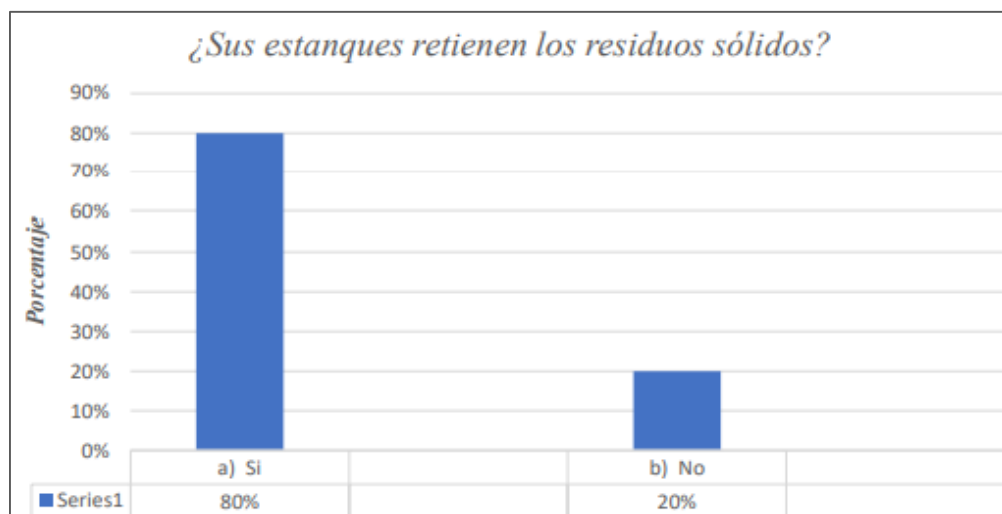
La mayoría de los productores (80%) manifiestan que los estanques retienen los sólidos y lodos, pero de acuerdo con estudios realizados por Fernández (2014), estos provocan mayor contaminación hídrica y disminución de la concentración del oxígeno disuelto en el agua con el paso de los días, es urgente mejorar las prácticas de retiro y posterior tratamiento a los mismos. Ver Gráficos 10 - 11.

Gráfico 10 Descenso del oxígeno disuelto versus días sin extracción de los lodos



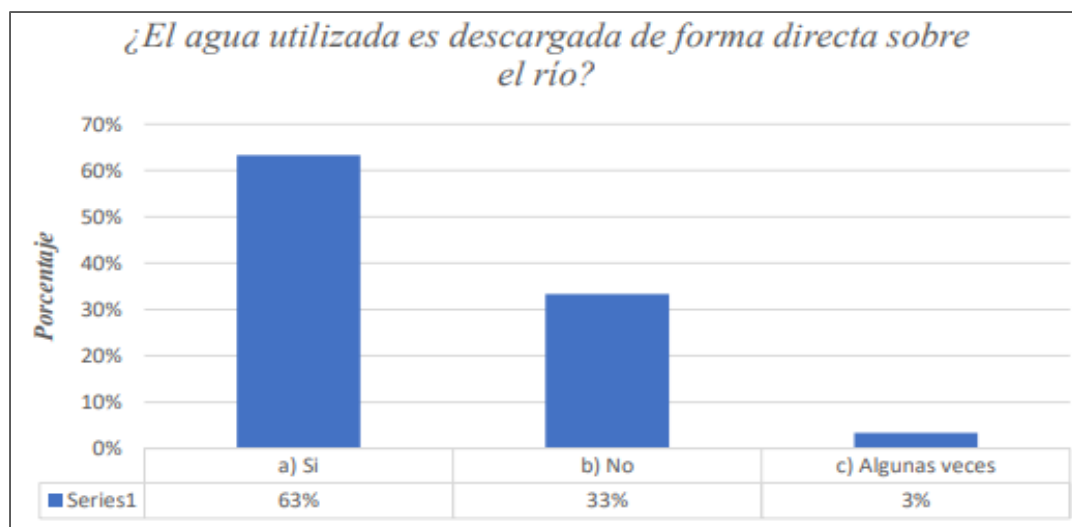
Fuente: tomado de Fernández (2014)

Gráfico 11 Retención de sólidos y lodos en las estaciones piscícolas



Otro factor que es evaluado en la encuesta es sobre la descarga del agua residual en el cuerpo de agua, para lo cual el 63% menciona que lo realiza de forma directa, mientras que el 33% menciona no hacerlo y un 3% lo hace en ciertas ocasiones, indicando que es debido a la ausencia de técnicas y espacios definidos para el lavado producto del desvicerado. Ver Gráfico 12.

Gráfico 12 Descarga del agua residual sobre el río Piendamó



7.2.1.4. Análisis preliminar

Los resultados estadísticos muestran que, al tener una mayor cantidad de peces a producir, los requerimientos de cantidad y calidad del recurso hídrico son mayores, además de requerir más estaciones piscícolas de tal forma que la contaminación es permanente y se incrementa al desarrollar más cultivos de trucha. Por otro lado, la población es consciente de que las malas prácticas de producción, como es el caso de no incorporar soluciones al tratamiento del agua de entrada y por ende del agua residual, es lo que en gran parte genera constantes presiones sobre el cuerpo de agua, causando deterioro ambiental sobre la fuente hídrica y los ecosistemas.

Sobre las malas prácticas también se tiene un manejo poco eficiente, por no decir nulo o casi nulo de los lodos y sólidos retenidos, los cuales son producidos en las estaciones piscícolas, en gran parte generados por el exceso de alimento, la aplicación de medicamentos, y por la orina y heces fecales de la trucha. Esta deficiente gestión se podría relacionar con los altos índices de las enfermedades provocadas sobre las especies, pues se evidencia que la principal enfermedad que ataca a los peces, en este caso los hongos, está relacionada con la contaminación hídrica aguas arriba de las estaciones piscícolas.

7.2.1.5. Caracterización de los focos de contaminación

Como se mencionó en la metodología, los datos para la caracterización de la calidad del agua en la subcuenca hídrica del río Piendamó, asociada al cultivo de trucha, se obtienen mediante información analizada, medida y evaluada por Fernández (2014) en 10 estaciones piscícolas en el Departamento del Cauca. Ver Tabla 7.

Tabla 7 Características de 10 estaciones piscícolas de trucha del Depto. del Cauca

Estación	Prod. (kg.mes ⁻¹)	Caudal (L.s ⁻¹)	Estanque			Densidad de Biomasa (kg.m ⁻³)
			Num.	Mat.	Forma	
Chiliglo	400	40.2	15	T	R	14.7
San Roque	500	107.0	14	M	R/C	12
Corozal	400	109.4	12	T	R	13.8
Juantama	12000	332.6	55	Co	C	30.0
La Playa	650	61.0	11	T	R	14.0
Corrales	2160	110.0	23	M	R	15.4
Quintero	420	80.8	40	M	R	12.7
Rio Ovejas	310	55.9	13	M	R	5.2
Sta Clara	1000	84.0	15	C	R/C	12
El Diviso	60000	460	116	C	R	30

T= tierra, M= mixto, Co= concreto, R=rectangular, C= circular, R= rectangular

Fuente: Fernández (2014)

Los parámetros medidos para la calidad del agua, según los rangos de medida en mg/L de las 10 estaciones piscícolas del Departamento del Cauca, se relacionan en la Tabla 8.

Tabla 8 Parámetros de calidad del agua 10 estaciones piscícolas del Depto. del Cauca

ESTACIÓN	PARÁMETROS (Entrada/Salida)							
	O.D. mg.L ⁻¹	pH unidades	Temp. °C	DBO ₅ mg.L ⁻¹	Turbiedad NTU	Sólidos Susp. mg.L ⁻¹	Fósforo Total mg.L ⁻¹	Nitrógeno Orgánico Total mg.L ⁻¹
Chiliglo	11,3/9,9	6,6/6,4	11/14,5	0,74/1,01	3,0/5,4	3/9	0,35/1,12	0,16/0,63
Corozal	9,6/7,5	6,4/6,4	12/12,5	1,7/3,03	2,2/2,0	2/3	0,11/0,19	0,16/0,42
San Roque	9/8,3	7/6,6	12/15	0,91/1,52	3,5/4,3	3/9	0,26/0,5	0,26/0,53
Quintero	8,8/5,4	6,7/6,4	10/11	0,83/1,56	1,3/2,9	2/5	0,46/0,86	0,68/1,35
Río Ovejas	8/6,4	7,2/7,31	15/15	0,45/0,91	24,2/35,8	41/63	0,44/0,62	0,90/1,02
Santa Clara	10,2/8,4	6,3/5,9	11/11	0,91/2,93	3,2/3,4	4/7	0,02/0,26	0,45/0,64
La Playa	8/7,5	6,2/5,7	12/13	1,02/1,19	5,6/9,2	4/16	0,38/1,10	0,6/0,68
Los Corrales	10,2/7,5	5,9/5,4	11/11	0,93/2,89	5,2/7,4	6/22	0,26/0,80	0,18/0,31
Juantama	9,2/8,6	6,2/6,5	13/13	0,51/1,03	3,8/9,6	7/13	0,46/0,60	0,09/0,37
El Diviso	9,2/6,6	7,1/6,9	15/15	0,85/5,66	3,0/4,0	4,5/6	0,14/0,27	1,03/2,09

Fuente: Fernández (2014)

Partiendo de la información obtenida por Fernández (2014) se procedió con la caracterización de los contaminantes mediante determinación de valores medios para los siguientes parámetros: demanda biológica de oxígeno (DBO₅), sólidos suspendidos (SS), fósforo total (PT) y nitrógeno orgánico total (NT). Por la similitud de la zona se escogieron los datos de las estaciones de: Corozal, San Roque, Quintero, Santa Clara, La Playa y Los Corrales. Es de anotar que las últimas tres se encuentran en el municipio de Silvia y dos de ellas vierten sus aguas residuales en la subcuenca hídrica río Piendamó. Ver Tabla 9.

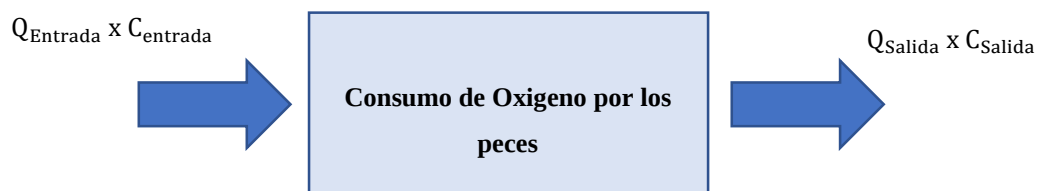
Tabla 9 Cálculo de valores medios de los parámetros de la calidad del agua

Valores promedio para los parámetros medios de la calidad del agua (mg/L)								
PARAMETRO	DBO ₅		SS		FOSFORO		NITRÓGENO	
Rangos del Parámetro	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Estación Corozal	1.7	3.03	2	3	0.11	0.19	0.16	0.42
Estación San Roque	0.91	1.52	3	9	0.26	0.5	0.26	0.53
Estación Quintero	0.83	1.56	2	5	0.46	0.86	0.68	1.35
Estación Santa Clara	0.91	2.93	4	7	0.02	0.26	0.45	0.64
Estación La Playa	1.02	1.19	4	16	0.38	1.10	0.6	0.68
Estación Los Corrales	0.93	2.89	6	22	0.26	0.80	0.18	0.31
Promedios por rango	1.05	2.19	3.5	10.33	0.25	0.62	0.39	0.66
Promedios totales por parámetro	1.62		6.92		0.433		0.523	

Teniendo los valores promedios de las concentraciones se procedió a determinar el valor del caudal utilizado o requerido por las piscifactorías que están sobre la subcuenca hídrica río Piendamó.

Para determinar la cantidad de caudal requerido (Q_r) por las piscifactorías se planteó un balance de masa en función del caudal y de las concentraciones de oxígeno a la entrada y salida de las estaciones piscícolas. Ver Figura 15.

Figura 15 Balance de Masa en función de las concentraciones de Oxígeno



El balance de masa establece la siguiente ecuación (2):

$$Q_{\text{Entrada}} \times C_{\text{Entrada}} = \text{Consumo } O_2 + Q_{\text{Salida}} \times C_{\text{Salida}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Considerando que el caudal de entrada y el de salida son iguales, de la ecuación 2 se obtiene la siguiente expresión (ecuación 3):

$$Q_{\text{Requerido}} = \frac{\text{Consumo } O_2}{C_{\text{Salida}} - C_{\text{Entrada}}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo:

$$Q_{\text{Requerido}} = \text{Caudal requerido por los peces en } \left[\frac{\text{Litros}}{\text{sg}} \right]$$

$$C_{\text{Entrada}} = \text{Concentracion de } O_2 \text{ a la entrada. Valor sugerido } 7.8 \left[\frac{\text{mg } O_2}{\text{Litro}} \right]$$

$$C_{\text{Salida}} = \text{Concentracion de } O_2 \text{ a la salida. Valor sugerido } 5.5 \left[\frac{\text{mg } O_2}{\text{Litro}} \right]$$

Mientras tanto, el consumo de oxígeno total se determina en términos de la biomasa y del consumo de oxígeno por kilogramo de pez en una hora.

$$\text{Consumo O}_2 = \text{Biomasa [Kg]} \times \frac{\text{Consumo de O}_2}{\text{Kg}_{\text{pez}} - \text{hora}}$$

Siendo la biomasa el producto del número total de peces por el peso promedio de los peces. Para este caso, se define un peso promedio de 150 gramos por pez.

Mientras tanto, el consumo de oxígeno por kilogramo de pez en una hora se define por medio de la metodología de Blanco (1996). Entonces, para una temperatura promedio de 16°C y un tamaño promedio de 150 gramos por pez se tiene que el consumo es de:

$$\frac{\text{Consumo de O}_2}{\text{Kg}_{\text{pez}} - \text{hora}} = 300 \frac{\text{mg de O}_2}{\text{Kg}_{\text{pez}} - \text{hora}}$$

Ahora, del Gráfico 6 se tienen los porcentajes en cada uno de los rangos de la producción iguales a 32%, 14%, 24% y 30% para 1.000 a 5.000, 6.000, 10.000 y 15.000 o más, respectivamente.

Entonces, aplicando estos porcentajes a las 73 estaciones piscícolas se obtiene que 23 corresponden al rango de 1.000 a 5.000, 10 al rango de los 6.000, 18 al de los 10.000 y 22 al de 15.000 o más peces por estación, se logra obtener el caudal requerido (Qr). Tabla 10.

Tabla 10 Determinación del Caudal Requerido (Qr)

Cálculo del Caudal Requerido Qr (L/sg)					
Rangos de producción	a) 1.000 a 5.000	b) 6.000	c) 10.000	d) 15.000	Totales
Número de Pisciculturas	23	10	18	22	
Promedio de peces por estación	2500	6000	9000	15000	
Número Total de peces por rango	58400	61320	157680	328500	605900
Biomasa gr (promedio 150 gr)	8760000	9198000	23652000	49275000	90885000
Biomasa (Kg)	8760	9198	23652	49275	90885
Consumo mg O ₂ /sg	730	766.5	1971	4106.25	7573.75
Caudal Requerido (L/sg)	317.4	333.3	856.9	1785.3	3292.9

Luego de definir el caudal requerido por las piscifactorías se procedió a determinar los aportes mensuales de los contaminantes que son vertidos al cuerpo hídrico y que están asociados a la producción truchícola sobre la subcuenca hídrica del río Piendamó en el sector de Guambía. Ver Tabla 11.

Tabla 11 Caracterización de cargas contaminantes en función del caudal (Qr)

Caudal Requerido (Qr)	
Cantidad total de peces producidos	605900
Peso en gramos	90885000
Peso en kilogramos	90885
Consumo de Oxígeno en mg O ₂ /s	7573.75
Caudal en L/s	3292.9
Caudal total L/S	3292.9
DBO	
mg/s	5329.066123
g/día	460431.313
kg/d	460.431313
Kg/mes de DBO₅	13812.9
SST	
mg/s	22776.13225
g/día	1967857.826
kg/d	1967.857826
Kg/mes de SST	59035.7
Fósforo	
mg/s	1426.938406
g/día	123287.4783
kg/d	123.2874783
Kg/mes de Fosforo	3698.6
Nitrógeno	
mg/s	1717.814312
g/día	148419.1565
kg/d	148.4191565
Kg/mes de Nitrógeno	4452.5

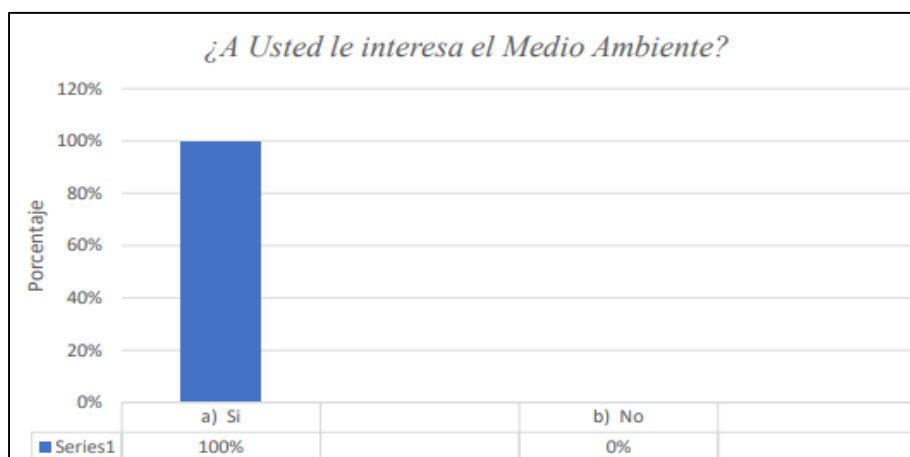
Como se observa, los aportes contaminantes asociados a la producción piscícola en la zona alta de la subcuenca en estudio son altos. En términos porcentuales, la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), de sólidos suspendidos totales (SST), de fósforo (P) y nitrógeno (N) aportan contaminación a razón del 17%, 73%, 5% y el 5%, respectivamente sobre la subcuenca hídrica del río Piendamó a la altura del resguardo indígena Misak de Silvia, Cauca.

7.3. Resultados del Objetivo 3

7.3.1 Sensibilización con la comunidad en lo referente a las causas de la contaminación

Mediante el desarrollo de las encuestas se buscó evaluar el grado de conciencia y de importancia que la comunidad les da a las fuentes hídricas, además de evaluar la percepción comunitaria respecto de los recursos naturales presentes en la subcuenca hídrica del río Piendamó. El 100% de la comunidad considera importante el medio ambiente. Ver Gráfico 13.

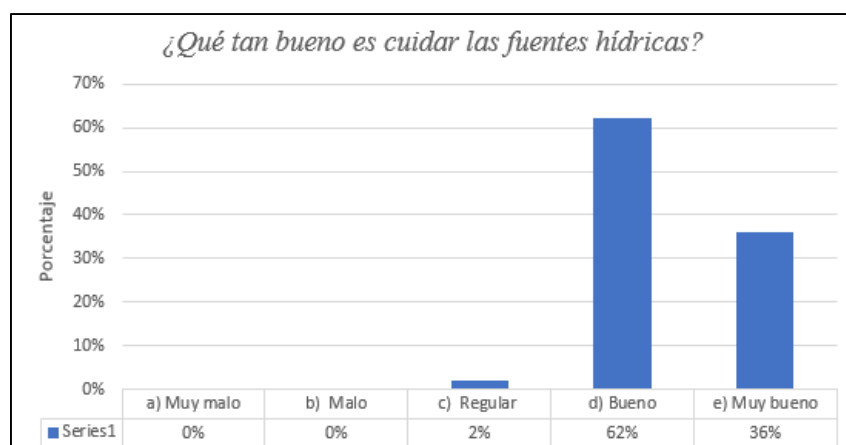
Gráfico 13 Interés comunitario respecto al medio ambiente



De acuerdo con las respuestas obtenidas, es evidente que a la población en general le preocupa las causas que puedan estar afectando las condiciones actuales del medio ambiente. En este caso se tiene que al 100% de los piscicultores les preocupan los impactos sobre el entorno natural.

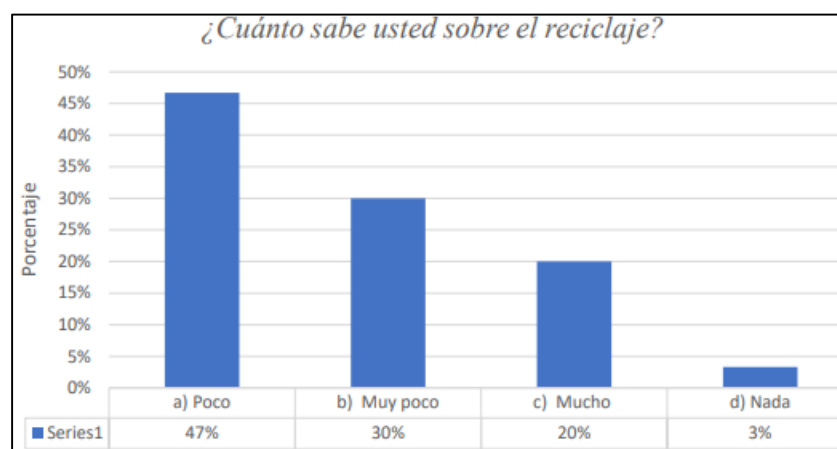
Particularmente, sobre la importancia de cuidar las fuentes hídricas, la población encuestada manifiesta que el cuidado por las mismas es vital, esto es debido a la necesidad de cuidar un recurso natural que hace parte del pensar y sentir comunitario. Ver Gráfico 14.

Gráfico 14 Necesidad de cuidar las fuentes hídricas



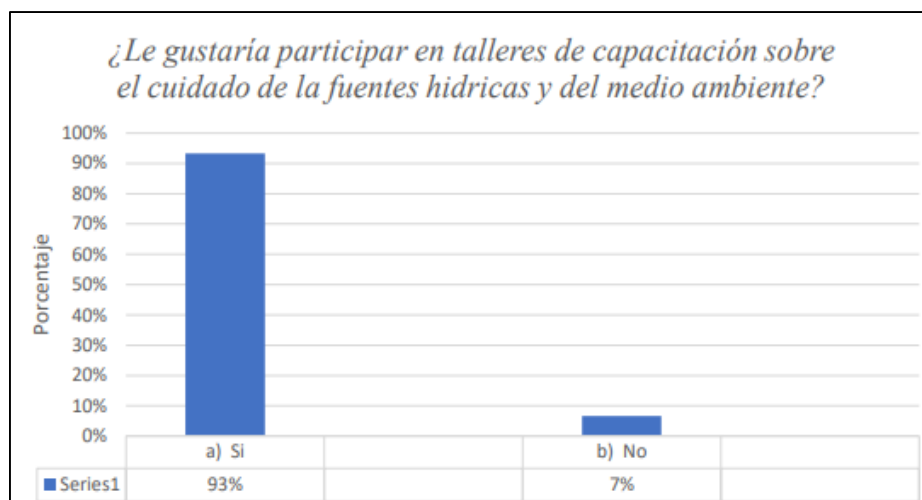
El conocimiento que tiene la comunidad sobre la gestión ambiental es limitado y es necesario que la población conozca y ponga en práctica acciones para mitigar la contaminación mediante el reciclaje. Ver Gráfico 15.

Gráfico 15 Conocimiento comunitario sobre el reciclaje



Por otra parte, la población encuestada manifiesta que está en plena disposición de participar en actividades de capacitación y de talleres que le permitan adquirir mayor conocimiento medioambiental. Ver Gráfico 16.

Gráfico 16 Disposición de participación en actividades de gestión ambiental



También fue fundamental considerar y especificar los parámetros que permiten comparar el grado de contaminación hídrica asociada al cultivo de la trucha, pues de acuerdo al estado del arte, los aspectos de mayor relevancia para mitigar la contaminación recaen **sobre la dieta alimenticia, mejores prácticas de alimentación y manejo del cultivo, además de la implementación de sistemas de remoción de sólidos**, esto último con la finalidad de dar un manejo eficiente sobre la generación de los lodos provenientes de los residuos alimenticios y de las heces y orina de los peces.

7.3.2 Definición de políticas y estrategias para la protección del río

Mediante el acercamiento y la sensibilización con la comunidad se propusieron sugerencias que permiten dar orientaciones puntuales respecto a las posibles soluciones que entregan y acciones políticas para la protección del recurso hídrico, por lo cual, y mediante el consenso, la comunidad establece las siguientes estrategias de protección y cuidado del recurso hídrico y del medio ambiente, para ser implementados en el transcurso del tiempo y de la posibilidad de obtener inversión y acompañamiento institucional:

1. Planificar los futuros usos del agua para evitar en corto plazo problemas ambientales.
2. La autoridad ancestral debe reglamentar políticas propias para el uso y manejo del agua.

3. Planificar la construcción y ampliación de las estaciones piscícolas en función de la conservación del medio ambiente.
4. La autoridad ancestral reglamentará la utilización de productos alimenticios, de desinfección y descontaminación.
5. Los propietarios de las estaciones piscícolas retribuirán al medio natural con el cuidado y la recuperación de los ojos de agua y así mismo incorporarán la flora y la fauna acuática para repoblar las diferentes fuentes hídricas.

Estas definiciones y/o estrategias se lograron mediante la puesta en marcha de un proceso participativo con el enfoque de planificación estratégica, utilizando como instrumento de gestión las mingas de pensamiento y talleres comunitarios para la construcción de estrategias que permitan alcanzar el objetivo propuesto, consistente en diseñar estrategias para la mitigación de la contaminación asociada a la producción piscícola a la altura de la comunidad indígena Misak de Silvia, Cauca. Ver Figura 16.

Figura 16. Proceso de participación comunitaria



En este sentido, la comunidad participó activamente en grupos de trabajo en donde se evaluaron las distintas problemáticas ambientales ocasionadas por la producción de la trucha, por lo que la comunidad manifiesta un sinnúmero de acontecimientos que recaen sobre el cuerpo hídrico. Los equipos de trabajo estuvieron conformados por líderes de las distintas zonas del territorio, representantes de las autoridades tradicionales y territoriales, además de las familias productoras de las estaciones piscícolas quienes también manifiestan un conjunto de necesidades y problemáticas medioambientales.

Mediante los instrumentos de participación como son: mapas parlantes, fichas de sugerencias, y espacios de debate se garantiza una participación incluyente y con ello se consolida información importante respecto de la visión y el sentido de conservación que la comunidad tiene sobre los recursos naturales, en este caso especial del agua.

Respecto de las estrategias que la comunidad ha propuesto desarrollar, algunas de estas ya se han adelantado como iniciativas y acciones de buen gobierno. En este aspecto es de manifestar que, desde la alcaldía municipal en coordinación con la autoridad ancestral, durante el año en curso se viene adelantando proyectos para la construcción de viveros con especies nativas del páramo para su repoblamiento. En el presente año se han realizado salidas pedagógicas con las instituciones educativas, con el fin de fortalecer los valores ambientales comunitarios y fortaleciéndolos en los estudiantes de la comunidad. Figura 17.

Figura 17. Iniciativas ambientales de reforestación del páramo. Silvia, Cauca



Por otro lado, la alcaldía ha tomado algunas decisiones importantes en lo que respecta a la estrategia de contribuir con mejorar la dieta de los peces, en conjunto con los productores, ya que viene consolidando un proyecto para la transformación de las vísceras de trucha para la producción de concentrados en el municipio y con impacto sobre los municipios aledaños productores de la misma como son: Toribio, Jambaló y Totoró.

El proyecto en mención se viene desarrollando con el acompañamiento de la Universidad del Cauca mediante la ejecución de recursos asignados al municipio por medio de la ley de regalías para la presente administración. Puesto que el proyecto ha dependido de los procesos de investigación adelantados por la academia, en este momento el proyecto se encuentra en la fase de implementación y ejecución, pues ya se cuenta con la planta procesadora, con los equipos tecnológicos y personal capacitado con un gran conocimiento para la preparación de los concentrados. Ver Figuras 18 - 19.

Figura 18. Planta de transformación para concentrados para trucha. Silvia, Cauca



Figura 19. Proceso de transformación para la preparación de alimento para truchas



Para dar cumplimiento con las demás iniciativas se propone como estrategias para la mitigación de la contaminación hídrica mejorar buenas prácticas de mantenimiento del cultivo a saber:

- ✓ Dar manejo eficiente a tablas de alimentación.
- ✓ Optimizar la aplicación de medicamentos.
- ✓ Lavado continuo de las estaciones piscícolas.
- ✓ Optimizar el manejo de los lodos.
- ✓ Optimizar el manejo de los desechos del eviscerado.

Sobre el manejo de los lodos, que son los que generan la mayor contaminación hídrica asociada al cultivo de la trucha, se considera necesario rediseñar los estanques e incorporar soluciones tecnológicas como son las pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales.

Todas estas iniciativas son el resultado de la participación permanente y continua de la comunidad mediante la representatividad de la autoridad, las juntas de acción comunal, las instituciones educativas, las familias productoras de las piscifactorías en asocio con entidades como la CRC. Ver Figura 20.

Figura 20. Actores estratégicos para la planificación



8. DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos respecto de las variables o parámetros caracterizados y que se asocian a la producción de la trucha en la zona alta del municipio de Silvia, resguardo Indígena de Guambia, en este caso para los 73 productores de la zona presentan altas concentraciones de DBO₅, SST, P y N de acuerdo con la Tabla 12.

Tabla 12 Resultados por parámetro contaminante

<i>Biomasa (Kg)</i>	<i>Caudal (L/sg)</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Aporte (Kg/mes)</i>
90.885	3.293	<i>DBO₅</i>	13.813
		<i>SST</i>	59.036
		<i>P</i>	3.699
		<i>N</i>	4.453

Sin lugar a duda, la calidad del agua se ve afectada principalmente por la concentración de los sólidos suspendidos totales (SST) en un porcentaje aproximado del 73%, sin embargo, esta variabilidad tanto de este parámetro como de los demás está dentro de los rangos reportados por la literatura (Ackefors y Enell, 1994; A. K. Amirkolaie, 2011; A Bergheim y Brinker, 2003; Boaventura *et al.*, 1997; Brinker *et al.*, 2005; S.J. Cripps, 1994; Dalsgaard y Pedersen, 2011; Fivelstad *et al.*, 2003; Maillard *et al.*, 2005; Piedrahita, 2003; Fernández, 2014). Por lo tanto, en la Tabla 13 se especifican las acciones que en un mediano plazo se esperaría den respuesta a la mitigación de la contaminación asociada a la producción piscícola en el resguardo indígena Misak o pueblo Guambiano.

Tabla 13 Acciones o estrategias concertadas para la protección del río Piendamó

Acción o estrategia	Responsables	Tiempo estimado y/o proyección para la ejecución
Manejo eficiente de las tablas de alimentación	Productores Autoridad Ancestral	Agosto – Dic/2023
Optimización del lavado a las instalaciones piscícolas.	Productores	Agosto – Dic/2023
Evaluación de un prototipo instalaciones piscícolas	Autoridad Ancestral	Enero – Jul/2024
Seguimiento a buenas prácticas	Autoridad ancestral Juntas de Acción comunal	Agosto – Dic/2023

Respecto de la participación y la voluntad de la comunidad, y por ende de las autoridades locales y territoriales, en lo que respecta a la proposición de estrategias que contribuyan a mitigar la contaminación hídrica asociada a la producción piscícola es admirable, pues la comunidad abre los espacios de discusión y finalmente recaen en los principios cosmogónicos del origen ancestral, manifestando que la madre naturaleza debe ser cuidada y protegida pues es el espacio de pervivencia en donde se fundamentan los valores culturales y ancestrales, tanto de las generaciones pasadas como de las actuales y de la que vienen o vendrán. Finalmente, la comunidad toma conciencia y da pautas para emprender iniciativas socio ambientales que serán implementadas en el mediano plazo, pues coinciden en que gran parte de la problemática es debida, generada y propiciada por la mirada capitalista que desde hace algún tiempo se le viene dando a productos como la trucha.

Tras la evaluación de estos resultados, es importante que las autoridades locales incorporen de la manera más ágil y pertinente soluciones técnicas y de capacitación ambiental que favorezcan el entorno natural de los ecosistemas presentes en la zona.

Por otro lado, es de anotar que los impactos negativos asociados a la producción piscícola recaen en la eutrofización de las fuentes naturales y evidentemente seguirán impactando los ecosistemas de paramo hasta tanto no se tomen medidas ambientales traducidas en iniciativas institucionales que contribuyan con el bienestar de las fuentes hídricas y la conservación del medio ambiente con miras a un desarrollo verdaderamente sostenible en el tiempo.

En cuanto a las afectaciones y de los múltiples usos del agua, éstos son diversos, pues la contaminación hídrica afecta el abastecimiento de las poblaciones aguas abajo como son las comunidades de la zona baja, entre ellos municipios que se abastecen directamente del río Piendamó como son los municipios de Piendamó, Morales, Cajibío y Suárez.

Sin lugar a dudas, la concertación fundamentada en conocimientos técnicos permite que la comunidad se empodere y tome conciencia de la importancia y de las implicaciones negativas que tiene el hecho de no contribuir con la conservación de los recursos naturales, pues se pone en juego la estabilidad ambiental de las futuras generaciones y de los ecosistemas estratégicos para la conservación de la vida.

9. CONCLUSIONES

Se puede concluir que a mayores producciones de trucha el requerimiento en cantidad y calidad del recurso hídrico es también mayor, conllevando a establecer más estaciones piscícolas que incrementan la contaminación hídrica con el pasar del tiempo. Por lo tanto, es urgente incorporar buenas prácticas de producción que favorezcan las condiciones ambientales de la subcuenca hídrica.

El impacto ambiental provocado por los lodos procedentes del cultivo de trucha es alto y es urgente incorporar soluciones técnicas y tecnológicas con el propósito de contrarrestar y reducir las afectaciones sobre el cuerpo de agua, principalmente por las variables o parámetros caracterizados con base en la información obtenida y analizada por Fernández (2014) para el presente estudio. Por otro lado, la deficiente gestión de los lodos podría estar directamente relacionada con los altos índices de las enfermedades provocadas en los peces, particularmente los hongos o manchas blancas que afectan al cultivo.

Adicionalmente, la población es consciente de que las malas prácticas de producción, como es el caso de no incorporar soluciones al tratamiento del agua de entrada y por ende del agua residual, es lo que en gran parte genera constantes presiones sobre el cuerpo de agua, causando deterioro ambiental sobre la fuente hídrica y los ecosistemas.

Las estrategias definidas por la comunidad y las autoridades locales estarán acompañadas de herramientas de planificación en el corto y mediano plazo que permitan gestionar de manera eficiente la depuración y mejoramiento ambiental de la subcuenca hídrica, todo esto mediante soluciones concertadas pero acompañadas de recursos económicos para materializar acciones pertinentes y oportunas en favor de los ecosistemas naturales de la región, principalmente los de páramo.

Es importante que la comunidad tome una posición en favor del cuidado del medio ambiente y de la conservación de los recursos hídricos, ya que, si las decisiones institucionales se toman sin tener en cuenta sus visiones e intereses económicos, las poblaciones optaran por seguir actuando de forma poco planificada, esto debido al bajo conocimiento de los impactos negativos sobre el territorio socio ambiental. En este sentido, es fundamental que la

educación ambiental y las capacitaciones sean de manera continua y permanente, por lo tanto, la institucionalidad, en este caso la Alcaldía Municipal, el Cabildo Indígena y demás actores estratégicos del orden nacional y regional deben ser garantes de dichos espacios que promuevan las buenas prácticas ambientales en favor de la subcuenca hídrica Río Piendamó.

10. RECOMENDACIONES

Se sugiere a las autoridades territoriales realizar una mayor planificación estratégica, de tal manera que la misma este en función de la conservación del agua, pues las mayores afectaciones que se vislumbran están asociadas al desbordamiento de la subcuenca hídrica en estudio, esto debido a la cantidad de construcciones cerca al cauce.

Por otro lado, las próximas investigaciones deben estar orientadas a la construcción de plantas piloto para el manejo de los lodos, ya que es la causa principal que provoca la contaminación hídrica sobre la cuenca.

En lo que respecta a los hongos que se presentan sobre la piel de los peces, se sugiere realizar rigurosos estudios para evaluar y medir los impactos y/o riesgos provocados por los mismos sobre la salud humana, de tal manera que se logre garantizar una excelente calidad y por ende una alta confiabilidad del producto.

También se sugiere a la autoridad ancestral la implementación de una política ambiental permanente que le permita realizar seguimiento continuo a las formas de producción y que se alineen a las estrategias de producción amigable con el entorno natural.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO G. (2008). Manual Básico para el Cultivo de Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*). *Global Environmental Management*, 1, 5 – 23. <https://lebascom.files.wordpress.com/2019/02/manual-basico-del-cultivo-de-la-trucha-arco-iris.pdf>
- ARCE O. (2006). Eutrofización de cuerpos de agua. Química del agua. Bolivia. <http://www.fcyt.umss.edu.bo>
- ASOCIACIÓN CIVIL LABOR. (2010). Proyecto Mejorando la rentabilidad de la truchicultura en el lago Titicaca con visión empresarial y responsabilidad social ambiental. <https://docplayer.es/38551056-Proyecto-mejorando-la-rentabilidad-de-la-truchicultura-en-el-lago-titicaca-con-vision-empresarial-y-responsabilidad-social-ambiental.html>
- ATLAS R. y BARTHA R. (2002). Ecología microbiana y Microbiología ambiental. Cuarta edición. Editorial Pearson Addison Wesley. Madrid, España.
- AXLER R.P., TIKKANEN C., HENNECK J., SCHULDT J. y MCDONALD M.E. (1997). Characteristics of effluent and sludge from two commercial rainbow trout farms in Minnesota. *The Progressive Fish-Culturist*, 59, 161–172. [https://doi.org/10.1577/1548-8640\(1997\)059%3C0161:ACOEAS%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8640(1997)059%3C0161:ACOEAS%3E2.3.CO;2)
- BARAK Y. y RIJN J. (2000). Biological phosphate removal in a prototype recirculating aquaculture treatment system. *Aquacultural Engineering*, 22, 121 – 136. [https://doi.org/bd.univalle.edu.co/10.1016/S0144-8609\(00\)00036-4](https://doi.org/bd.univalle.edu.co/10.1016/S0144-8609(00)00036-4)
- BERGHEIM, A., y BRINKER, A. (2003). Effluent treatment for flow through systems and European Environmental Regulations. *Aquacultural Engineering*, 27(1), 61–77. doi:10.1016/S0144-8609(02)00041-9
- BERGHEIM, A., SANNI, S., INDREVIK, G., y HLLAND, P. (1993). Sludge removal from salmonid tank effluent using rotating microsieves. *Aquacultural Engineering*, 12(2), 97–109. doi:10.1016/0144-8609(93)90019-8

- BEER, S. (1959), *Cybernetics and Management*, Londres, Universities Press.
- BILOTTA G. y BRAZIER R. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42, 2849 – 2861. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018>
- BLANCO M. (1995). La trucha: cría industrial. Madrid. Mundi Prensa. Pág. 249 – 500 – 530.
- BOERSEN, G., y WESTERS, H. (1986). Waste Solids Control in Hatchery Raceways. The Progressive Fish-Culturist, 48(2), 151–154. doi:10.1577/1548- 8640(1986)482.0.CO;2
- BRAUNER C., THORARENSEN H., GALLAUGHER P., FARELL A. y RANDALL D. (2000). CO₂ Transport and excretion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during graded sustained exercise. *Respiration Physiology*, 119, 69 – 82. [https://doi.org/10.1016/s0034-5687\(99\)00091-2](https://doi.org/10.1016/s0034-5687(99)00091-2)
- BRENNER T. y REFERAT F. (1994). Las pesquerías de aguas continentales frías en América Latina. COPESCAL Documento ocasional. No. 7. Roma, FAO. Pág. 32.
- BRINKER A., GERD SHRO H. y ROSCH R. (2005). A high – resolution technique to size suspended solids in Flow – through fish farms. *Aquacultural Engineering*, 32, 325 – 341. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2004.07.002>
- BRINKER, A., y RÖSCH, R. (2005). Factors determining the size of suspended solids in a flow-through fish farm. *Aquacultural Engineering*, 33, 1–19. doi:10.1016/j.aquaeng.2004.10.003
- BRIX K., GERDES R., CURRY N., KASPER A. y GROSELL M. (2010). The effects of total dissolved solids on egg fertilization and water hardening in two salmonids – arctic grayling (*Thymallus arcticus*) and Dolly Varden (*Salvelinus malma*). *Aquatic Toxicology*, 97, 109 – 115. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2009.12.011>
- BOERSEN, G., y WESTERS, H. (1986). Waste Solids Control in Hatchery Raceways. The Progressive Fish-Culturist, 48(2), 151–154. doi:10.1577/1548- 8640(1986)482.0.CO;2

- BUREAU, D.P., GUNTHER, S.J., CHO, C.Y., (2003). Chemical composition and preliminary theoretical estimates of waste outputs of rainbow trout reared in commercial cage culture operations in Ontario. *North America Journal of Aquaculture*, 65, 33–38. [http://dx.doi.org/10.1577/1548-8454\(2003\)065%3C0033:CCAPTE%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1577/1548-8454(2003)065%3C0033:CCAPTE%3E2.0.CO;2)
- BUREAU, D., y CHO, C. Y. (1999A). Phosphorus utilization by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): estimation of dissolved phosphorus waste output. *Aquaculture*, 179(1-4), 127–140. doi:10.1016/S0044-8486(99)00157-X
- BUREAU, D., y CHO, C. Y. (1999B). Nutritional Strategies for the Management of Aquaculture Wastes. In *Addressing Concerns for Water Quality Impacts from LargeScale Great Lakes Aquaculture*. Retrieved from <http://www.ijc.org/php/publications/html/aquaculture/app04.html>
- BURYNIUK M., PETRELL R., BALDWIN S. y VICTOR K., (2006). Accumulation and natural disintegration of solid wastes caught on a screen suspended below a fish farm cage. *Aquacultural Engineering*, 35, 78 – 90. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.08.008>
- CAMACHO B., MORENO M., RODRÍGUEZ M., LUNA C. y VÁZQUEZ M. (2000). Guía para el cultivo de trucha *Oncorhynchus mykiss* (Smith y Stearly, 1988). Semarnap. Pag. 43-46. Primera Edición. Tlapan (Mexico, DF). ISBN 968 – 817 – 437 – 8.
- CAMARGO J. y ALONSO A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. AEET Asociación Española de Ecología Terrestre.
- CARBONELL, A. Y E. SELTZER (2011), *Regional Planning in America. Practice and Prospect*, Cambridge, Lincoln Institute of Land Policy.
- CASALIS, A. (2009), ¿Qué es el desarrollo local y para qué sirve?, Buenos Aires, Centro de Estudios para el Desarrollo Local (CEDEL) [en línea] <http://tresdelatres.files.wordpress.com/2009/03/que-es-el-desarrollo-local-casalis.pdf>.

- CASTILLO F. (2005). Biotecnología ambiental. Primera edición. Editorial TEBAR. Madrid, España.
- CHAUX G, CAICEDO JR, FERNÁNDEZ JE. (2013). Tratamiento de efluentes piscícolas (tilapia roja) en lagunas con *Azolla pinnata*. *Biotecnol Sector Agropecuario Agroind.* 11(2):46-56.
- CHIMBOR C. (2009) Principales enfermedades en la trucha Arcoíris. *Revista Aquavision*, 2, 20 – 23. https://issuu.com/martinito01/docs/revista_marzo_2009
- CHO, C. Y., HYNES, J. D., WOOD, K. R., y YOSHIDA, H. K. (1994). Development of high-nutrient-dense, low-pollution diets and prediction of aquaculture wastes using biological approaches. *Aquaculture*, 124(1–4), 293–305. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90403-0](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(94)90403-0)
- COLOSO R., KING K., FLETCHER J., HENDRIX M., SUBRAMANYAM M., WEIS P. y FERRARIS R. (2003). Phosphorus utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed practical diets and its consequences on effluent phosphorus levels. *Aquaculture*, 220, 801 – 820. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00403-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00403-9)
- COLT J., WATTEN B. y RUST M., (2009). Modeling carbon dioxide, pH, and un – ionized ammonia relationships in serial reuse systems. *Aquaculture Engineering*, 40, 28 – 44. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.10.004>
- CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA (2012). Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente. Página 402. <https://observatorioambiental.contraloria.gov.co/SiteFiles/OCFA/documentos/ierna/Informe%20sobre%20el%20estado%20de%20los%20Recursos%20Naturales%20y%20de%20Ambiente%202012-2013.pdf>
- CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA (1991). Colombia. Editorial Leyer
- CORREIA DE ANDRADE, MANUEL (1996), “Territorialidad es, desterritorialidades, novas territorialidades: os limites do poder nacional e do poder local”, Território, globalização e fragmentação, Milton Santos y otros, São Paulo, Hucitec.

- CRIPPS S. y BERGHEIM A., (2000). Solids management and removal for intensive land – based aquaculture production systems. *Aquaculture Engineering*, 22, 33 – 56. [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144860900000315#:~:text=https%3A//doi.org/10.1016/S0144%2D8609\(00\)00031%2D5](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144860900000315#:~:text=https%3A//doi.org/10.1016/S0144%2D8609(00)00031%2D5)
- CRIPPS, S J. (1994). Minimizing outputs: treatment. *Journal of Applied Ichthyology*, 10(4), 284–294. doi:10.1111/j.1439-0426.1994.tb00168.x
- DALSGAARD J. y BOVBJERG PEDERSEN P. (2011). Solid and suspended/dissolved waste (N, P, O) from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 313, 92 – 99. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.01.037>
- DAVIDSON, J., y SUMMERFELT, S. (2004). Solids flushing, mixing, and water velocity profiles within large (1 and 15 m³) circular “Cornell-type” dual-drain tanks. *Aquacultural Engineering*, 32(1), 245–271. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2004.03.009
- DE LA CRUZ C. y SALAZAR A. (2007). Caracterización y estudio de tratabilidad del efluente de estaciones piscícola. Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad del Cauca. Popayán, Cauca, Colombia.
- DURANT, M. D., SUMMERFELT, S. T., y HANKINS, J. A. (1995). A field trial of a hydroacoustic waste feed control mechanism in a flow-through tank fish production system with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). In N. Svennevig y Å. Krogdahl (Eds.), *Quality in Aquaculture* (pp. 147–148). European Aquaculture Society Special Publication No. 23.
- EBELING, J. M., RISHEL, K. L., y SIBRELL, P. L. (2005). Screening and evaluation of polymers as flocculation aids for the treatment of aquacultural effluents. *Aquacultural Engineering*, 33(4), 235–249. doi:10.1016/j.aquaeng.2005.02.001
- ESPINAL C., GONZÁLEZ F. y MARTÍNEZ H. (2005). La cadena de la piscicultura en Colombia, una mirada global de su estructura y dinámica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio agro cadenas.

- ESPINOZA J. (2004) Piscicultura, Conceptos y Definiciones. Panamá, Pág. 1-2.
- FAYOL, H. (1916), Administration industrielle et générale: prévoyance, organisation, commandement, coordination, controle, París, H. Dunod et E. Pinat.
- FEDERACIÓN COLOMBIANA DE ACUICULTORES - FEDEACUA (2018). Cartillas Didácticas 1 y 2. Formalización de la Piscicultura en el departamento de Antioquia. Generalidades.
- FERNÁNDEZ F. (2008). Algunos problemas de control en procesos de eutrofización. Universidad de Santiago de Compostela. Memoria Tesis de Doctorado. España. Pág. 2 – 4.
- FERNANDEZ J. (2014). Nuevo Desarrollo Tecnológico para la producción más limpia de la trucha arco iris. Tesis Doctoral, Universidad del Valle, Cali - Colombia.
- FERNÁNDEZ J., DE LA CRUZ C. y CAICEDO J.R. (2010). Informe de avance: Inventario y diagnóstico de Piscícola en el Departamento del Cauca. Proyecto de Efluentes, Unicauca, Univalle, Crepic.
- FOY, R. H., y ROSELL, R. (1991). Fractionation of phosphorus and nitrogen loadings from a Northern Ireland fish farm. Aquaculture, 96(1), 31–42. doi:DOI: 10.1016/0044-8486(91)90137-V
- FRANCIS – FLOYD R. y WATSON C. (2005) Ammonia, University of Florida, IFAS extensión, FA.
- GÁL D., SZAB’O P., PEK’AR F. y V’ARADI L. (2003). Experiments on the nutrient removal and retention of a pond recirculation system. Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation, Hidrobiology. Szarvas, Hungary.
- GALVIS OCHOA, J. (2000). Estudio de la calidad del agua de los ríos Palace, Cofre, Piendamó y Ovejas en la zona indígena del oriente y nororiente del departamento del Cauca. Tesis de Grado, Universidad del Valle.

- GARCÍA RUÍZ R. y HALL G. (1996). Phosphorus fractionation and mobility in the food and faeces of hatchery reared rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss*). *Aquaculture*, 145, 183 – 193.
[https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848696013294#:~:text=htps%3A//doi.org/10.1016/S0044%2D8486\(96\)01329%2D4](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848696013294#:~:text=htps%3A//doi.org/10.1016/S0044%2D8486(96)01329%2D4)
- GEIGER, PEDRO (1996), “Des -territorialização e espacialização”, Territorio: Globalização e Fragmentação, São Paulo, Hucitec.
- GUTIÉRREZ CHAPARRO, J.J. (2000), Planeación estratégica en ciudades: Un modelo emergente para el Estado de México, Toluca, Instituto de Administración Pública del Estado de México.
- HARGREAVES J. y TUCKER C. (2004). Managing Ammonia in Fish Ponds. SRAC Southern Regional Aquaculture Center.
- HEINEN, J.M., HANKINS, J.A., ADLER, P.R., 1996. Water quality and waste production in a recirculating trout-culture system with feeding of a higher energy or a lower-energy diet. *Aquacult. Res.* 27, 699–710.
- HENDERSON, J. P., y BROMAGE, N. R. (1988). Optimising the removal of suspended solids from aquacultural effluents in settlement lakes. *Aquacultural Engineering*, 7(3), 167– 181. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0144-8609\(88\)90019-2](http://dx.doi.org/10.1016/0144-8609(88)90019-2)
- HENRY J. y HEINKE G. (1999). Ingeniería Ambiental. Editorial Prentice Hall, Mexico.
- HOFER R., JENEY Z. y BUCHER. (1995). Chronic effect of Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) and ammonia on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry at water criteria limits. *Water Research*, 29, 2725-2729. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(95\)00143-9](https://doi.org/10.1016/0043-1354(95)00143-9)
- HOSFELD C. D., HAMMER J., HANDELAND S., FIVELSTAD S. y STEFANSSON S. (2009). Effects of Fish Density on Growth and Smoltification in Production of Atlantic Salmon (*Salmo Salar* L.) *Aquaculture*, 294, 236 – 241.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.06.003>

- HUGGINS, D. L., PIEDRAHITA, R. H., y RUMSEY, T. (2004). Analysis of sediment transport modeling using computational fluid dynamics (CFD) for aquaculture raceways. *Aquacultural Engineering*, 31(3–4), 277–293. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2004.05.007>
- HUGGINS, D., PIEDRAHITA, R., y RUMSEY, T. (2005). Use of computational fluid dynamics (CFD) for aquaculture raceway design to increase settling effectiveness. *Aquacultural Engineering*, 33(3), 167–180. doi:[10.1016/j.aquaeng.2005.01.008](http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.01.008)
- HUSSAR G., PARADELA A., JONAS T. y RODRIGUEZ J. (2005). Tratamiento da água de escoamento de tanque de piscicultura através de leitos cultivados de vazao subsuperficial: analise da qualidade física e química. Brasil: 2005. Volumen 2, Pág. 45 – 59.
- ILPES (INSTITUTO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE PLANIFICACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL) (1982), “El Estado actual de la planificación en América Latina y el Caribe”, documento presentado en la III Conferencia de Ministros y Jefes de Planificación de América Latina y el Caribe (Ciudad de Guatemala, 6 a 9 de noviembre), Santiago de Chile.
- INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLT. (2011). El 50% del agua en Colombia es de mala calidad. <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/>
- INCODER, INSTITUTO COLOMBIANO DE DESARROLLO RURAL. (2005) Subgerencia de Pesca y Acuicultura. Cultivo de Trucha Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*). Documento impreso.
- KIM K. (1997) Re – evaluation of protein and amino acid requirements of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 151, 3 – 7. [https://doi-org.bd.univalle.edu.co/10.1016/S0044-8486\(96\)01483-4](https://doi.org/bd.univalle.edu.co/10.1016/S0044-8486(96)01483-4)
- KINDSCHI, G. A., THOMPSON, R. G., y MENDOZA, A. P. (1991). Use of Raceway Baffles in Rainbow Trout Culture. *The Progressive Fish-Culturist*, 53(2), 97–101. doi:[10.1577/1548-8640\(1991\)0532.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1577/1548-8640(1991)0532.3.CO;2)

- KOL, J. Y P. DE WOLFF (1993), “Tinbergen’s work: change and continuity”, *De Economist*, vol. 141, N° 1, Kluwer Academic Publishers.
- KUTTY, M.N., (1968). Respiratory quotients in goldfish and rainbow trout. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 25, 1689–1728. <https://doi.org/10.1139/f68-150>
- LANGER, J., EFTHIMIOU, S., ROSENTHAL, H., y BRONZI, P. (1996). Drum filter performance in a recirculating eel culture unit. *Journal of Applied Ichthyology*, 12(1), 61–65. doi:10.1111/j.1439-0426.1996.tb00062.x
- LEFRANCOIS P., PUIGAUT J. y CHAZARENC COMEAU Y. (2010). Minimizing phosphorus discharge from aquaculture earth ponds by a novel sediment retention system. *Aquacultural Engineering*, 43, 94 – 100. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.07.002>
- LOIX B. (2005). Manual on effluent treatment in aquaculture: Science and Practice. Chapter 3. Effluent water treatment: Solids Removal. *Aquaetreat*. Italia. Pág. 31 – 45.
- LOVELL R. (2002). Diet and Fish Husbandry. En: J. Halver y R. Hardy. (2002). *Fish Nutrition*. Pág. 720-730. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-012319652-1/50014-8>
- MADR, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. (2010). Corporación Colombia Internacional CCI, Sistema de información de la Oferta Agropecuaria SIA, Informe de Resultados, Encuesta Nacional Piscícola. Bogotá.
- MADR, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. (2013). Cadena de acuicultura.
- MAILLARD, V. M., BOARDMAN, G. D., NYLAND, J. E., y KUHN, D. D. (2005). Water quality and sludge characterization at raceway-system trout farms. *Aquacultural Engineering*, 33(4), 271–284. doi:10.1016/j.aquaeng.2005.02.006
- MALISON J. y HARTLEB C. (2005). Best management practices for Aquaculture in Wisconsin and Great Lakes Region, USA. Pág. 7 – 87.

- MALLYA J. (2007). The Effects of Dissolved Oxygen on Fish Growth in Aquaculture Kinglowira National Fish Farming Center, Fisheries Division, Ministry of Natural Resource and Tourism, Tanzania. Pág. 13 – 26.
- MATUS, C. (2007), MAPP. Método ALTADIR de planificación popular, Lugar Editorial, Buenos Aires.
- MEDINA-ECHEVERRÍA, F. (1977), “Programas de enseñanza de planificación del desarrollo urbano regional a la luz de la experiencia de implementación de planes y políticas”, EURE, vol. 5, N° 14, Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, noviembre.
- McDANIEL N., SUGIURA S., KEHLER T., FLETCHER J., COLOSOS R., WEIS P. y FERRARIS R. (2005). Dissolved oxygen and dietary phosphorus modulate utilization and effluent partitioning of phosphorus in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) aquaculture. *Enviromental Pollution*, 138, 350 – 357. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.03.004>
- MOLINA L. (2021). Diseño de una guía ambiental para minimizar la afectación del cultivo de trucha en la laguna de Tota, municipio de Aquitania, Boyacá. Universidad del Bosque, Bogotá, Colombia.
- MORALES G., (2004). Crecimiento y eficiencia alimentaria de trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* en jaulas bajo diferentes regímenes de alimentación. Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- MORRIS, A. (1972), Historia de la forma urbana. Desde sus orígenes hasta la revolución industrial, Harlow, Longman
- OCA, J., y MASALO, I. (2007). Design criteria for rotating flow cells in rectangular aquaculture tanks. *Aquacultural Engineering*, 36(1), 36–44. doi:10.1016/j.aquaeng.2006.06.001

- OCA, J., MASLÓ, I., y REIG, L. (2004). Comparative analysis of flow patterns in aquaculture rectangular tanks with different water inlet characteristics. *Aquacultural Engineering*, 31(3-4), 221–236. doi:10.1016/j.aquaeng.2004.04.002
- PARDO S, SUÁREZ H, SORIANO E. (2006). Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *Rev. MVZ Córdoba*. 11(1 Suppl):20-29.
- PATTERSON, R., WATTS, C., y TIMMONS, M. (1999). The power law in particle size analysis for aquacultural facilities. *Aquacultural Engineering*, 19(4), 259–273. doi:10.1016/S0144- 8609(98)00054-5
- PÉREZ ORTIZ, J. (2018) Caracterización ambiental del recurso hídrico en el Resguardo del Cabildo Indígena de Guambia, Silvia Cauca. Universidad de Caldas.
- PENAGOS J. y CEPEDA E. (2011). Determinación del efecto de la acumulación de sólidos sobre la generación de contaminación disuelta y la tasa de crecimiento de los peces en un estanque modificado para el cultivo de trucha. Tesis de grado. Universidad del Cauca, Popayán.
- PIEDRAHITA R. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 226, 35 – 44. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)
- PIRES, VALDEMIR (1999), “Límites y potencialidades del presupuesto participativo”, Asociación Internacional de Presupuesto Público [en línea] http://www.asip.org.ar/es/revistas/42/pires/pires_01.php.
- PLAN AMBIENTAL DEL TERRITORIO DE GUAMBIA (2011). Crianza del Territorio Misak. Documento impreso. Territorio de Guambiano.
- PLAZA, M. (2000), Metodología de planificación y gestión estratégica del desarrollo local, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES).

- PUTTASWAMAIAH, K. (1996), Tinbergen and modern economics: The Noble Economist Saint. Gidwani, Nueva Delhi.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (2011), Diccionario de la lengua española [en línea] www.rae.es.
- RENGIFO P. y ORDOÑEZ A. (2014). Uso del extracto de fique como coadyudante de coagulación en el tratamiento de agua residual con alta carga orgánica disuelta. Tesis de Grado. Universidad del Cauca, Popayán. Colombia.
- RITMANN, B. E., y MCCARTY, P. L. (2001). Environmental Biotechnology: principle y Application (Firs.). New York: McGraw-Hil.
- RODEHUTSCORD, M., GREGUS, Z., y PFEFFER, E. (2000). Effect of phosphorus intake on faecal and non-faecal phosphorus excretion in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* / and the consequences for comparative phosphorus availability studies. *Aquaculture*, 188, 383–398.
- RODRÍGUEZ H. y ANZOLA E. (2001). La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Fundamentos de Acuicultura Continental. Bogotá. páginas. 70-72.
- ROLDÁN G. y RAMÍREZ J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Segunda edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- ROQUE E., BLANCHETON J., BOUJARD T., MONTOUNET Y., PRZYBYLA C. y BELAUD A. (2008). Comparison of two methods for evaluating waste of a flow through trout farm. *Aquaculture*, 274, 72 – 79. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848607010344#:~:text=https%3A//doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.10.053>
- ROQUET (2019). El reto de la contaminación en las ciudades. Disponible en: <https://elordenmundial.com/el-reto-de-la-contaminacion-en-las-ciudades/>. Consultado en septiembre de 2022.

- RUIZ, R. G., y HALL, G. . (1996). Phosphorus fractionation y mobility in the food y faeces of hatchery reared rainbow trout y faeces of hatchery reared rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 145, 183–193.
- SAGPyA, SITIO ARGENTINO DE PRODUCCIÓN ANIMAL (2006). Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/>
- SANDOVAL, C. (2014). Métodos y aplicaciones de la planificación regional y local en América Latina. Serie de desarrollo territorial. CEPAL. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/36967-metodos-aplicaciones-la-planificacion-regional-local-america-latina>
- SIEDENBERG, D. (2010), Fundamentos e técnicas de planejamento estratégico, Santa Cruz do Sul, Edunisc.
- SOMS, E. (1995), Apuntes metodológicos para la elaboración de estrategias y planes regionales, Santiago de Chile, Ministerio de Planificación y Cooperación.
- SOLLA, SOLLANOTAS. (2009). El papel del oxígeno en la producción de Truchas. Disponible en: <http://www.solla.com/PDF/SollanotasDic09Peces.PDF>
- SOTO D, NORAMBUENA F. (2004). Evaluation of salmon farming effects on marine systems in the inner seas of southern Chile: a large-scale mensurative experiment. *J Appl Ichthyol*. 20(6):493-501.
- STEVENSON, J. (1985). Manual de Cría de la Trucha (Primera Ed.). Zaragoza (España): Editorial ACRIBIA, S. A.
- STEWART N., BOARDMAN G. y HELFRICH L. (2006) Characterization of nutrient leaching rates from settled rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sludge. *Aquacultural Engineering*, 35, 191 – 198. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2006.01.004>
- SUGIURA, S. H., RABOY, V., YOUNG, K. A., DONG, F. M., y HARDY, R. W. (1999B). Availability of phosphorus and trace elements in low-phytate varieties of barley and corn for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 170(3–4), 285–296. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00414-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00414-1)

- SUMMERFELT, S. T., ADLER, P. R., GLENN, D. M., y KRETSCHMANN, R. N. (1999). Aquaculture sludge removal and stabilization within created wetlands. *Aquacultural Engineering*, 19(2), 81–92. doi:10.1016/S0144-8609(98)00042-9
- TELLO A., CORNER A. y TELFER T. (2010). How do land-based salmonid farms affect stream ecology. *Enviromental Pollution*, 158, 1147 – 1158. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.11.029>
- TERRY GREGORIO, J.R. (2007), “Teoría y práctica del desarrollo comunitario rural integrado”, Revista OIDLES, vol. 1, N° 2, Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y la Economía Social (OIDLES), diciembre.
- TIMMONS, M. B., SUMMERFELT, S. T., y VINCI, B. J. (1998). Review of circular tank technology and management. *Aquacultural Engineering*, 18(1), 51–69. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8609(98)00023-5
- TRUE, B., JOHNSON, W., y CHEN, S. (2004c). Reducing phosphorus discharge from flow-through aquacultureIII: assessing high-rate filtration media for effluent solids phosphorus removal. *Aquacultural Engineering*, 32(1), 161–170. doi:10.1016/j.aquaeng.2004.08.004
- TRUE, B., JOHNSON, W., y CHEN, S. (2004b). Reducing phosphorous discharge from flowthrough aquacultureII: Hinged and moving baffles to improve waste transport. *Aquacultural Engineering*, 32(1), 145–160. doi:10.1016/j.aquaeng.2004.08.003
- TROELL M, HALLING C, NILSSON A, BUSCHMANN AH, KAUTSKY N, KAUTSKY L. (1997). Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced Enviromental impact and increased economic output. *Aquaculture*. 156(1-2):45-61.
- VOLLERTSEN J., ALMEIDA M. y HVITVED T. (1999). Effects of temperature and dissolved oxygen on hydrolysis of sewer solids. S0043-1354(99)00032-9.

- WATTEN, B. J., y BECK, L. T. (1987). Comparative hydraulics of a rectangular cross-flow rearing unit. *Aquacultural Engineering*, 6(2), 127–140. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0144-8609\(87\)90010-0](http://dx.doi.org/10.1016/0144-8609(87)90010-0)
- WATTEN, B., HONEYFIEL, D., y SCHAWARTZ, M. (2000). Hydraulic characteristics of a rectangular mixed-cell rearing unit. *Aquacultural Engineering*, 24(1), 59–73. doi:10.1016/S0144-8609(00)00064-9
- WARRER, HANSEN (WATER QUALITY INST., H. (DENMARK)). (1982). Evaluation of matter discharged from trout farming in Denmark. In J. S. Alabaster (Ed.), *Workshop on Fish-Farm Effluents*. Silkeborg (Denmark), 26 May 1981. FAO, 1982.
- WONG, K. B., y PIEDRAHITA, R. H. (2000). Settling velocity characterization of aquacultural solids. *Aquacultural Engineering*, 21(4), 233–246. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8609\(99\)00033-](http://dx.doi.org/10.1016/S0144-8609(99)00033-)