



**ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN PISCÍCOLA EN
COLOMBIA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA, CONSIDERANDO COMO CASO DE
ESTUDIO LA ESTACIÓN PISCÍCOLA SAN JOSÉ DEL NUS, 2019 – 2023**

Leyda Sofía Rodríguez Mendoza

Trabajo de grado

Para optar el título de Administrador Ambiental y Sanitario

Asesor:

Fernando León Guzmán Duque

Universidad de Antioquia

Facultad Nacional de Salud Pública Héctor Abad Gómez

Medellín

2024

Cita	(Rodríguez Mendoza, 2024)
Referencia	Rodríguez Mendoza, L. S. (2024). <i>Análisis del efecto de las prácticas de producción piscícola en Colombia sobre la calidad del agua considerando como caso de estudio la estación piscícola san José del Nus, 2019 – 2023</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Seleccione biblioteca, CRAI o centro de documentación UdeA (A-Z)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi pequeña hija Hellen Sofía Tapias, quien me acompañó en este proceso desde el vientre, hasta sus actuales meses de vida, mi pequeña princesa, mi mayor alegría y motivación, mi compañerita de vida. ¡TE AMO!

Agradecimientos

Primero que todo agradezco a Dios por su misericordia, amor y fortaleza cada día.

Agradezco a mis padres Dina luz Mendoza y Sofanor Rodríguez, también a mis 4 hermanos por su amor, motivación apoyo y en el transcurso de mi carrera.

Agradezco a mi asesor Fernando León Guzmán Duque, por su acompañamiento en la ejecución de este trabajo de grado, por su apoyo y por compartirme sus saberes profesionales, fue un placer para mí ser su alumna.

Agradezco a los jurados: Javier Antonio Cobaleda Rúa Y Luz Nelly Zapata Villareal por su dedicación y apoyo para mejorar la calidad de este trabajo

Agradezco a la estación piscícola san José del Nus por abrir sus puertas para el desarrollo de este trabajo y por ser tan amenos en cada una de las visitas realizadas, principalmente al administrador Juan David Gaviria, a la administradora de proceso productivo Carmen Olguín y al operario Danilo Echavarría, por compartir sus conocimientos técnicos y facilitar la ejecución de este trabajo.

Por último, pero no menos importante agradezco a La Universidad de Antioquia, a la Facultad Nacional de Salud Pública y todo su cuerpo docente, por su colaboración, apoyo y seguimiento en mi proceso académico y formativo.

Tabla de contenido

1	Introducción	26
2	Planteamiento del Problema	29
2.1	Antecedentes	29
2.1.1	Internacional.....	29
2.1.2	Nacional.....	35
2.2	Descripción del Problema	40
3	Justificación	43
4	Objetivos.....	46
4.1	Objetivo General	46
4.2	Objetivos Específicos.....	46
5	Marcos teórico	47
5.1.1	Calidad del Agua	47
5.1.2	Prácticas de Producción Sostenible (A Nivel Mundial).....	56
5.1.3	Calidad del Agua para Piscicultura.....	58
5.1.4	Estado actual del sector piscícola	64
5.2	Marco Geográfico o Territorial.....	65
5.2.1	Antioquia	65

5.2.2	San Roque	67
5.3	Marco Institucional	69
5.4	Estructura organizativa	70
5.5	Visión.....	71
5.6	Misión	71
5.7	Política de calidad e inocuidad	71
5.8	Marco legal.....	72
5.8.1	Jurídico	72
5.8.2	Normativo y programático	77
6	Metodología	81
6.1	Enfoque de diseño	81
6.2	Tipo de estudio	81
6.3	Tipo de investigación	81
6.4	Plan de Búsqueda de información.....	82
6.4.1	Definición de Palabras Clave y Términos de Búsqueda.	82
6.4.2	Selección de Bases de Datos y Fuentes de Información.	82
6.5	Procedimiento de la Revisión Documental.....	83
6.5.1	Categorías de Interés	84
6.6	Establecimiento de Criterios	85

6.6.1	Criterios de Inclusión.....	85
6.6.2	Implementación de los Criterios.....	85
6.7	Criterios de exclusión.....	86
6.7.1	Procedimientos de Exclusión.....	87
6.8	Estrategia de Síntesis de la Revisión	87
6.9	Método.....	87
6.10	Consideraciones éticas (con especial atención al reconocimiento de la propiedad intelectual).....	88
7	Resultados.....	89
7.1	Prácticas de producción piscícola, incluyendo los métodos, alimentación, sustancias químicas y manejo del agua utilizados por los productores en Colombia	89
7.1.1	Fases del proceso de producción	89
7.1.2	Tiempo de producción	93
7.1.3	Tipos de Producción	93
7.1.4	Escogencia del terreno	93
7.1.5	Técnicas de producción.....	94
7.1.6	Método o sistema de producción.....	95
7.1.7	Tecnologías para manejo del agua en procesos piscícolas	97
7.1.8	Alimentación	101
7.1.9	Sustancias químicas.....	104

7.1.10	Uso de Medicamentos Veterinarios, Productos Químicos y Biológicos	104
7.1.11	Manejo del agua utilizado por productores en Colombia.....	108
7.1.12	Factores que influyen en la cantidad de agua necesaria para la piscicultura.....	111
7.1.13	Cantidad de agua necesaria para la piscicultura en sistemas de recirculación	112
7.2	Prácticas y procesos de producción piscícola implementados en La Estación Piscícola San José del Nus.....	112
7.2.1	Proceso de producción	112
7.2.2	Uso y manejo del agua.....	119
7.2.1	Vertimientos.....	123
7.3	Impactos de las prácticas de producción piscícola sobre calidad del agua.....	124
7.4	Efectos sobre la biodiversidad acuática	132
7.5	Efectos sobre los ecosistemas circundantes	133
7.6	Implicaciones para la salud humana	134
7.7	Sostenibilidad de sector.....	135
7.7.1	Muestreo	139
7.7.1	Parámetros medidos in situ captación quebrada La Vega.	141
7.7.2	Parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio de la captación quebrada La Vega.	141
7.7.3	Parámetros de vertimientos a la quebrada la Vega.....	145
7.7.4	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	148

8	Análisis de resultados	156
8.1	Prácticas de producción piscícola, incluyendo los métodos, alimentación, sustancias químicas y manejo del agua utilizados por los productores en Colombia	156
8.2	Prácticas y métodos de producción piscícola implementados en La Estación Piscícola San José del Nus.....	157
8.3	Impactos de las prácticas de producción piscícola sobre calidad del agua, destacando los efectos sobre la biodiversidad acuática, y los ecosistemas circundantes, así como sus implicaciones para la salud humana y la sostenibilidad del sector.	158
8.4	Calidad fisicoquímica, biológica y otros posibles contaminantes presentes en el agua de La Estación Piscícola San José del Nus ad del agua en La Estación Piscícola San José del Nus, mediante parámetros fisicoquímicos y biológicos, y la identificación de posibles contaminantes presentes en el agua.	160
9	Discusión	165
10	Conclusiones	168
11	Recomendaciones	170
12	Referencias	172

Lista de tablas

Tabla 1. Rangos de ponderación para la calidad del agua.....	52
Tabla 2. Rangos de ponderación para la contaminación del agua	55
Tabla 3. Valores e intervalos óptimos para el cultivo de peces dulceacuícolas en aguas latinoamericanas	59
Tabla 4. Legislación aplicable	72
Tabla 5. Normatividad aplicable.....	78
Tabla 6. Características nutritivas del alimento balanceado según la edad.....	102
Tabla 7. Niveles de nutrientes recomendados para las diferentes etapas.....	103
Tabla 9. Cantidad de alimento por suministrar según el peso promedio de los peces.....	103
Tabla 10. Sustancias prohibidas en Colombia	107
Tabla 11. Parámetros medidos diariamente en laboratorio de incubación.....	123
Tabla 12. Aspectos e impactos de la producción piscícola	Error! Bookmark not defined.
Tabla 13. Balance consumo de alimento – Generación de sedimento TRUCHA	126
Tabla 14. Indicadores de consumo de agua, alimento – Generación de sedimentos, a partir del balance de masa y agua	127
Tabla 15. Consumo de alimento – Generación de sedimentos TILAPIA	128
Tabla 16. Indicadores de consumo de agua – Generación de sedimentos – Tilapia.....	128
Tabla 17. Puntos de monitoreo	140
Tabla 18. Parámetros medidos in situ captación quebrada La Vega.....	141

Tabla 19. Parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio de la captación quebrada La Vega	142
Tabla 20. Caudal promedio de cada vertimiento	146
Tabla 21. Resultados índices de contaminación	144

Lista de Figuras

Figura 1: Producción mundial de la acuicultura.....	30
Figura 2: Contribución regional a la producción acuícola	31
Figura 3: Producción de peces de aleta cultivados en jaulas o corrales en aguas.....	32
Figura 4. Producción piscícola en Brasil en miles de toneladas 2019	33
Figura 5. Oxígeno disuelto en mg/L O ₂ C	63
Figura 6. Ubicación departamento de Antioquia en Colombia.....	66
Figura 7: Ubicación corregimiento san José del Nus	67
Figura 8. Cuenca de la quebrada La Vega y los elementos básicos de la red de drenaje	68
Figura 9. Estructura organizativa de la estación piscícola san José del Nus.....	70
Figura 10. Etapas de la producción piscícola.....	92
Figura 11. Sistemas Biofloc	99
Figura 12. Incubadoras	113
Figura 13. Estanques de producción.....	114
Figura 14. Estanques de tierra	115
Figura 15. Estanque 5 - Docencia	115
Figura 16. Tanques de Geomembrana	116
Figura 17. Lago	116

Figura 18. Esquema de la estación: vista superior	117
Figura 19. Esquema de la estación: vista lateral izquierda.....	118
Figura 20. Esquema de la estación: vista lateral derecho	118
Figura 21. Migración de peces al exterior de las jaulas.....	119
Figura 22. Reservorio de agua	120
Figura 23. Control de rebose	120
Figura 24. Canal de conducción.....	121
Figura 25. Compuerta de regulación de caudal	122
Figura 26. Recirculación de agua en laboratorio de incubación	122
Figura 27. Balance de consumo de alimento - Generación de sedimentos.....	125
Figura 28. Producción piscícola por año y departamento	137
Figura 29. Localización puntos de monitoreo.....	140
Figura 30. Concentración de SST en la descarga Estanque Producción.	152
Figura 31. Concentración y carga de grasas y aceites descarga estanque de tierra - 2019.....	154
Figura 32. Concentración y carga de grasas y aceites descarga estanque de producción - 2019.	155
Figura 33. Concentración y carga de grasas y aceites descarga lago- 2019.....	155

Glosario de términos

Aguas oligotróficas: Se dice que un ecosistema o ambiente es oligotrófico si ofrece poco para sostener la vida. El término se utiliza comúnmente para describir ambientes de agua, hielo, aire, roca o suelo con niveles muy bajos de nutrientes (Química s.f).

Alcalinidad total: La alcalinidad total se define como la cantidad de carbonato de calcio o su equivalente disuelto en el agua expresada en miligramos por litro (mg/l).

Algas bentónicas: Las algas bentónicas son fuente de alimento, energía y refugio para muchos organismos. De esta forma, la productividad de las algas bentónicas en aguas poco profundas afecta directa o indirectamente a la eficiencia de todo el ecosistema marino.

Anoxia: Es la insuficiencia de oxígeno en la sangre, las células y los tejidos del cuerpo, lo que puede afectar a su correcto funcionamiento (Guerri, 2023)

Aspecto ambiental: Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que interactúa o puede interactuar con el medio ambiente

Autoridad ambiental: Cualquier autoridad de la República de Colombia que tenga competencia en asuntos ambientales

Bacterias heterótrofas: Las Bacterias Heterotróficas están presentes en todos los cuerpos de agua y constituyen un grupo de bacterias ambientales de amplia distribución, éstas son indicadoras de la eficacia de los procesos de tratamiento, principalmente de la desinfección (descontaminación). (Marchand Pajares, Edgard Orlando)

Bioteología: La biotecnología agrupa todo el conjunto de técnicas, procesos y métodos que utilizan organismos vivos, como las bacterias, hongos y virus, partes de ellos o sistemas

biológicos derivados de los mismos. Esto con la finalidad de generar y/o mejorar bienes y/o procesos que sean de interés para el ser humano. (Naciones Unida, 1992)

Conductividad eléctrica del agua. Capacidad que posee el agua para poder conducir la electricidad

Conductividad eléctrica: Indica la capacidad que posee el agua para poder conducir la electricidad, varía en función de la temperatura y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua.

Cuerpos de Agua: es cualquier extensión que se encuentran en la superficie terrestre (ríos y lagos) o en el subsuelo (acuíferos, ríos subterráneos); tanto en estado líquido, como sólido (glaciares, casquetes polares); tanto naturales como artificiales (embalses) y pueden ser de agua salada o dulce.

Cuerpo lacustre: aquellos espacios, fenómenos o elementos relacionados con los lagos. Lo lacustre es aquello que sucede en el espacio interno del lago, así como también el tipo de ecosistema que se crea alrededor suyo dependiendo de las condiciones climáticas de cada lugar. (Bembibre, 2010)

Demanda Biológica de Oxígeno: Parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida

Demanda Química de Oxígeno: Es una medición indirecta de la cantidad de materia orgánica en una muestra

Erosión: Es la remoción y el transporte de las partículas superficiales por acción del viento y el agua. Ambos adquieren energía cuando se presenta en las formas de precipitación (pluvial), de escorrentía (escurrimiento) y de vientos, que al estar en contacto con el suelo (las primeras por impacto y las segundas por fuerza tractiva), vencen la resistencia del suelo generándose la erosión.

Especies invasoras: una especie invasora es una especie ajena que se establece en ecosistemas o hábitat naturales o semi naturales, es un agente de cambio y pone en peligro la diversidad biológica nativa. (Ramsar, Irán, 1971).

Eutroficación: Degradación de la calidad del agua debido a un exceso de nutrientes.

Eutrofización: La eutrofización se refiere al aporte en exceso de nutrientes inorgánicos (procedentes de actividades humanas), principalmente Nitrógeno (N) y Fósforo (P), en un ecosistema acuático, produciendo una proliferación descontrolada de algas Fito planctónicas y provocando efectos adversos en las masas de agua afectadas.

Exoftalmia: Es la propulsión del globo ocular, de forma notable, de la cavidad donde este se encuentra.

Fauna introducida: También llamada especie foránea o especie exótica, es una especie de organismos no nativos del lugar o del área en que se los considera introducidos y han sido accidental o deliberadamente transportados a una nueva ubicación por las actividades humanas.

Fauna nativa: Una especie nativa o autóctona es cualquier especie (animal, vegetal o de otro reino biológico) que es originaria de un determinado sitio geográfico. Este puede ser un ecosistema, una región, un país, un continente o cualquier otra delimitación biogeográfica o administrativa que se desee estudiar.

Filtración: Se conoce como filtración a una técnica para separar sólidos en suspensión dentro de un fluido (líquido o gas), empleando para ello un medio filtrante que consiste en un material poroso que se denomina tamiz, filtro o criba. Este filtro retiene los sólidos de mayor tamaño y permite el paso del fluido, junto con las partículas de tamaño inferior.

Fitoplancton: Es uno de los principales motores para el correcto funcionamiento y equilibrio de los ecosistemas marinos la presencia de estos organismos es fundamental y muy beneficiosa para los diferentes ecosistemas marinos que se distribuyen a lo largo y ancho del planeta. (Roldán, 2020)

Flora silvestre: Conjunto de especies e individuos vegetales del territorio nacional que no se han plantado o mejorado por el hombre, presentes en ecosistemas naturales diferentes al bosque natural. Incluye la flora acuática. (Decreto 1076 de 2015).

Histopatología: La Histopatología es la rama de la Patología que trata el diagnóstico de enfermedades a través del estudio de los tejidos.

Impactos ambientales: Cambio en el medio ambiente ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales

Letargia: Afección caracterizada por somnolencia, además de falta de energía y alerta mental. Las causas del letargo pueden ser enfermedades, lesiones o medicamentos, entre otras. También se llama letargia.

Liofilización: Es un proceso en el que una muestra completamente congelada se coloca al vacío para eliminar el agua u otros disolventes de la muestra. (Aaron Hilgedick, 2022)

Metafilácticos: Tratamiento de un grupo de animales sin evidencia de enfermedad, que están en contacto cercano con otros animales que sí tienen evidencia de enfermedad infecciosa.

Mineralización: La mineralización es una característica definitoria de los tejidos duros y permite que los materiales implantados permanezcan en su lugar incluso cuando se les aplica una carga forzada. La mineralización se produce en la etapa final de la formación de la matriz ósea, después de que se hayan secretado y madurado todas las posibles proteínas de la matriz extracelular. (Pérez, 2015)

Nado errático: Los peces giran y se mantienen con el vientre hacia la superficie y finalmente se hunden.

Oxidación de materia orgánica: Técnica electro analítica para la determinación de compuestos orgánicos e inorgánicos, los cuales pueden ser oxidados o reducidos electroquímicamente. (Linares-Hernández, 2011)

Oxígeno disuelto: Cantidad de oxígeno en el agua. Es entendido como la cantidad de oxígeno en el agua; generalmente un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad.

pH: Está definido como la medida de la concentración de iones hidrógeno en el agua, la turbidez es la medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión, la DBO es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida y la DQO es una medición indirecta de la cantidad de materia orgánica en una muestra.

Plancton: El plancton es un conjunto de organismos diminutos que viven en la superficie y bajo la superficie de lagos, ríos, estanques y océanos de todo el planeta. El plancton no nada por sí mismo, sino que es arrastrado por las mareas, las corrientes y otras fuerzas que determinan su destino (Daly s.f).

Profiláctico: Se refiere a las medidas tomadas para prevenir enfermedades o complicaciones. Proviene de la palabra griega “prophylaktikos”, que significa “precaución”.

Raceways: También conocidos como sistemas de flujo continuo, se emplean en cultivos intensivos, ya que cuentan con un flujo rápido de agua, que permite mantener una biomasa elevada de organismos y un recambio de agua continuo.

Sedimentación: Es el resultado, tanto el acto como el efecto, de sedimentar. Se trata de un proceso durante el cual diversos materiales que van siendo transportados por distintos agentes se van precipitando o depositando en diferentes superficies. A raíz de este fenómeno, estos sólidos que van surgiendo a partir de la meteorización y la erosión pasan a ser sedimentos. (Gudiña, 2023)

Suelo: Según la FAO el suelo definido como un cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua

Temperatura: Es la medida de energía cinética media de las moléculas de agua, Los animales y las plantas acuáticas son sensibles a los cambios de temperatura y requieren que ésta se

mantenga dentro de un intervalo determinado para poder sobrevivir y reproducirse debido a que la mayor temperatura afecta a la cantidad de oxígeno que puede transportar el agua y a menor temperatura transporta más oxígeno favoreciendo la supervivencia de todos los animales acuáticos. También influye en la fotosíntesis de plantas y algas, y la sensibilidad de los organismos frente a los residuos tóxicos.

Tratamiento biológico: Tipo de tratamiento en el que se usan sustancias elaboradas por organismos vivos para tratar enfermedades. Estas sustancias se producen en el cuerpo de manera natural o en un laboratorio.

Zonas hipóxicas: sitios donde los agroquímicos afectan los ecosistemas, porque al persistir los químicos en el agua, el oxígeno disuelto de forma natural se agota y muy pocos organismos logran sobrevivir en esa zona. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018)

Zooplankton: El zooplankton es un grupo de animales que habita tanto en agua dulce como del mar, y que en ambos tipos de ambientes representan la base de la pirámide trófica, por ocupar el primer nivel de los consumidores.

Siglas, acrónimos y abreviaturas

ASC: Aquaculture Stewardship Council

AUNAP: Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca

BFT: Tecnología Biofloc

BPM: Buenas Prácticas de Manejo

BPPA: Buenas Prácticas de Producción Acuícola

DQO: Demanda Química de Oxígeno

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FEDEACUA: Federación Colombiana de Acuicultores

G-LIMA: Grupo de Investigación y Laboratorio de Monitoreo Ambiental

IBGE: Instituto Brasileño de Geografía y Estadística

ICA: Índice de Calidad del Agua

ICA: Instituto Colombiano de Agricultura

ICO: Índice de Contaminación del Agua

ICOMI: Índice de Contaminación por Minerales

ICOMO: Índice de Contaminación por Materia Orgánica

ICONTEC: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación

ICOpH: índice de Contaminación por potencial de Hidrógeno

ICOSUS: Índice de Contaminación por Sólidos Suspendedos

ICOTRO: Índice de Contaminación Tráfico

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

IPRS: In Pond Raceway System o en español Sistema de Canalización del Estanque, Aquaculture Stewardship Council

LABGIGA: Laboratorio del Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental

LGA: Laboratorio de Gestión Ambiental

MSC: Global Container Shipping Company

MSC: Marine Stewardship Council

OD: Oxígeno Disuelto

OMS: Organización mundial de la salud

OSPESCA: Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo

RAS: Sistemas de Recirculación Acuícola

SDT: Sólidos Disueltos Totales

UE: Unión Europea

Resumen

Este trabajo tuvo como objetivo identificar los impactos sobre la calidad del agua asociados a la producción piscícola, incluyendo un caso de estudio realizado en La Estación Piscícola San José del Nus de la Universidad de Antioquia, mediante una revisión en la literatura de aspectos e impactos en el agua generado por las prácticas de producción piscícola, adicionalmente se realizaron tres visitas a La estación piscícola San José del Nus donde se identificaron las prácticas de producción, implementas y manejo del agua utilizado, adicionalmente se hizo un análisis a través de los informes realizados por los laboratorios G-LIMA Y LabGIGA donde se encuentran los estudios de la calidad fisicoquímica de las aguas residuales no domésticas y superficiales realizados en la Estación Piscícola.

Los información encontrada en la literatura mostró una relación directa entre las prácticas de alimentación de los peces y la calidad del agua de los medios de cultivo, siendo estas una de las principales causas de contaminación del agua, por su potencial carga de nutrientes que al ser dispuesto en mayores cantidades pueden generar una acumulación excesiva de nutrientes en el agua causando eutrofización y por ende mayor demanda de oxígeno, generando una depleción en los niveles de oxígeno disponible tanto para los ecosistemas acuáticos como para las especies en cultivo, y causando afecciones como reducción del sistema inmunológico de los peces haciéndolos susceptibles a enfermedades, Esto debido a que los bajos niveles de oxígeno causan que los peces coman poco y gasten energía en la búsqueda del oxígeno, lo que durante periodos prolongados de baja concentración estresará a los peces pudiendo provocar la muerte masiva. Adicionalmente se encontró que en la estación piscícola san José del Nus no cuenta con sistemas de tratamiento, recirculación o reutilización del agua para su proceso productivo, aun así, cumple con la resolución 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 y se dictan otras disposiciones.

Por último las conclusiones se direccionan hacia la necesidad de mejorar la gestión del recurso hídrico en sistemas de producción piscícola, representando un elemento fundamental para la sostenibilidad de la acuicultura y la conservación de los ecosistemas acuáticos, la eficiencia en el

uso del agua, el tratamiento y reciclaje de efluentes, así como la adopción de prácticas de manejo que reduzcan el impacto ambiental, son aspectos críticos que deben ser considerados para minimizar las alteraciones en la calidad del agua y promover una producción piscícola responsable.

Abstract

This work aimed to identify the impacts on water quality associated with fish production, including a case study carried out at the San José del Nus fish Station of the University of Antioquia, through a literary review of aspects and impacts on water. generated by fish production practices, three visits to the San José del Nus fish station where the identification of the production practices implemented and management of the water used was carried out, additionally an analysis of the studies of the physicochemical quality of the waters was carried out. non-domestic and surface waste produced at the fish farming station through different water quality reports.

The main results showed a direct relationship between feeding practices and the water quality of the culture media, these being one of the main causes of water contamination, due to their potential load of nutrients that, when disposed in greater quantities, will generate a excessive accumulation of nutrients in the water causing eutrophication and therefore consumption of oxygen demand, generating a depletion in the levels of oxygen available for both aquatic ecosystems and cultured species, generating conditions such as a reduction in the immune system of fish, making them susceptible. to diseases, in addition, it was found that the San José del Nus fish farming station does not have water treatment, recirculation or reuse systems, even so, it complies with the national regulations required for physicochemical parameters of the wastewater coming from the productive units.

Finally, the conclusions are directed towards the need to improve water resource management in fish production systems, representing a fundamental element for the sustainability of aquaculture and the conservation of aquatic ecosystems, efficiency in the use of water, treatment and recycling of effluents, as well as the adoption of management practices that reduce environmental impact, are critical aspects that must be considered to minimize alterations in water quality and promote responsible fish production.

1 Introducción

La piscicultura fue creada con la intención de encontrar una alternativa a la pesca tradicional, que resultara eficiente, ayudara a preservar las poblaciones naturales y redujera la presión sobre las poblaciones nativas de peces, además de servir como medio de sustento económico. El proceso de cultivo y recolección de peces y otras especies acuáticas en recintos es muy rentable. Los piscicultores pueden producir un alto rendimiento de organismos en un área pequeña. Esto da como resultado una producción muy eficiente y altos beneficios. La piscicultura también requiere menos combustible y equipo, como botes, lo que también la hace más rentable que la pesca tradicional. (Martínez, 2020).

La situación de escasez de los peces de agua dulce es una alarma para la seguridad alimentaria a nivel global. Las crecientes amenazas a los ecosistemas continentales son un problema social y económico, ya que poseen un valor incalculable para millones de personas alrededor del planeta. Las pesquerías son una fuente primaria de proteína y nutrientes esenciales para, al menos, 200 millones de personas a nivel mundial (Cobo, 2021). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el 95% de las capturas de peces en aguas continentales se consumen en países en vías de desarrollo. (FAO, 2021)

A escala mundial, la acuicultura se ha incrementado en las últimas tres décadas, esto ha significado un crecimiento económico y social para los sectores dedicados a esta actividad, contribuyendo de forma importante en la generación de empleos y en la producción de alimentos para consumo humano, ricos en proteínas de alta calidad, también juega un papel importante enfocando sus objetivos en los esfuerzos por erradicar el hambre, proveyendo de alimentos y en general mejorando la salud y calidad de vida de las personas.

La implementación de esta actividad es una alternativa bastante eficiente en la producción de alimentos de calidad y alto contenido de proteína; sin embargo, esta actividad produce alteraciones de diferentes parámetros fisicoquímicos del agua. Una de las principales consecuencias ambientales asociadas con la acuicultura es la eutrofización, proceso inducido por el enriquecimiento de nutrientes en cuerpos de agua. Investigaciones realizadas por diferentes

autores demuestran que el exceso de nutrientes, particularmente nitrógeno y fósforo derivados de los alimentos y excrementos de los peces, promueve el crecimiento descontrolado de algas y plantas acuáticas (Instituto del agua, s.f). Este crecimiento excesivo puede conducir a la depleción del oxígeno en el agua, afectando adversamente la supervivencia de especies acuáticas y la biodiversidad.

Por otro lado, se encuentra la contaminación por nutrimentos debido al uso de productos químicos en la producción piscícola, incluidos los medicamentos y desinfectantes utilizados para controlar enfermedades en los peces que pueden acumularse en el agua y en los sedimentos, provocando efectos tóxicos en la fauna acuática y alterando la composición química del recurso hídrico. La permanencia de estas sustancias en el ambiente acuático plantea riesgos no solo para los ecosistemas acuáticos, sino también para la salud humana, dado el potencial de bioacumulación de ciertos contaminantes en la cadena alimentaria. Hernández et al. (2018). Lo anterior mencionado hace obligatorio que quienes realicen a la ejecución de esta actividad cumplan con la normatividad vigente en la materia, como la resolución 0631 de 2015 la cual establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y el Decreto Único 1071 de 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural.

La Estación Piscícola San José del Nus de la Universidad de Antioquia, interesada en conocer el cumplimiento de la normativa ambiental contrató al Laboratorio del Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental – LabGIGA y al Grupo de Investigación y Laboratorio de Monitoreo Ambiental G-LIMA para evaluar la calidad fisicoquímica de las aguas residuales no domésticas generadas en sus instalaciones y del agua superficial de la quebrada la vega, dónde es captada el agua, para constatar cumplimiento normativo el cumplimiento normativo según lo dispuesto en la resolución 0631 de 2015.

En este trabajo se desarrolla una revisión bibliográfica que recopila información de artículos publicados en revistas, investigaciones realizadas en procesos piscícolas en los cuales se pueda obtener conocimiento del proceso de producción y las afectaciones que estos pueden ocasionar

sobre el componente agua, se expone una visión general sobre la situación actual de la piscicultura y se realiza una indagación de las prácticas realizadas en la estación piscícola San José del Nus y el análisis de los parámetros fisicoquímicos de los vertimientos generados.

2 Planteamiento del Problema

2.1 Antecedentes

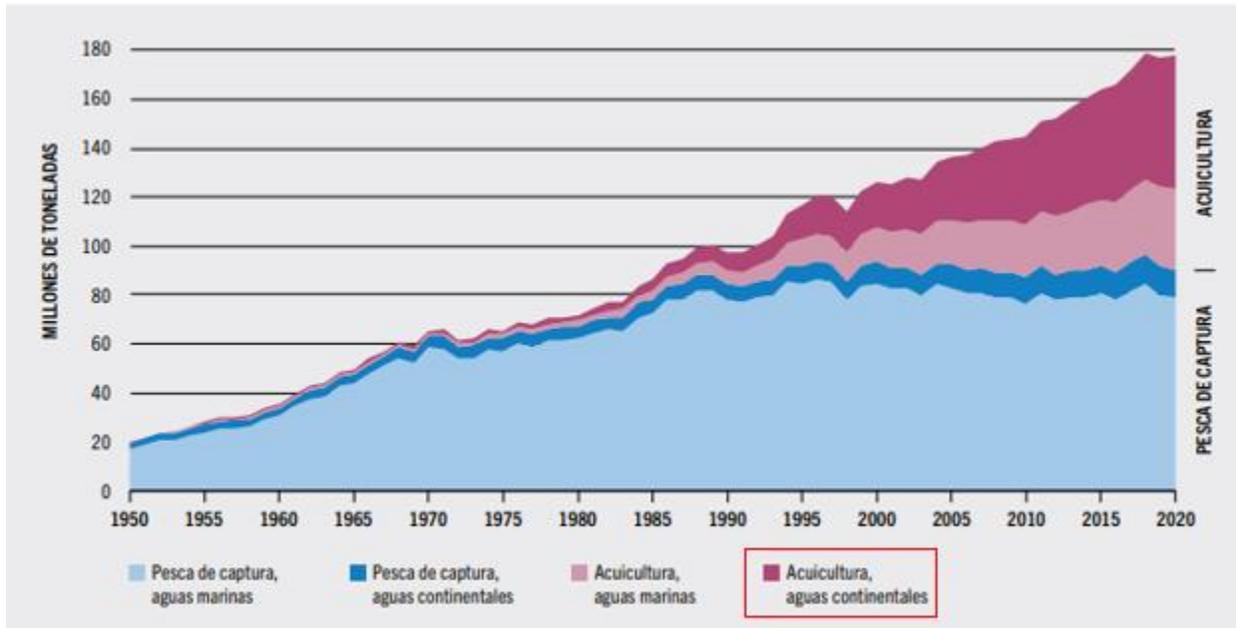
Existe una preocupación sobre la conservación y cuidado del medio ambiente, la seguridad alimentaria y un desarrollo que en realidad sí sea sostenible. En este marco, a continuación, se relacionan algunos antecedentes internacionales, nacionales y locales enfocados en el aumento de la actividad y producción piscícola, el deterioro de la calidad del agua debido a la presencia de nitrógeno y fósforo en exceso y otras sustancias químicas como antibióticos que pueden llegar al recurso hídrico en grandes cantidades, generando resistencia bacteriana a los antibióticos.

2.1.1 Internacional

Con base a estudios realizados por la FAO (2020) se prevé que la producción acuícola alcance los 109 millones de toneladas en 2030, lo que supone un aumento del 32% (26 millones de toneladas) con respecto a 2018.

Asia es el continente líder en el sector de la acuicultura y será responsable de más del 89% del aumento de la producción en 2030, por lo que el continente representará el 89% de la producción mundial de acuicultura en 2030. Si bien China seguirá siendo el principal productor mundial, su participación en la producción total disminuirá del 58% en 2018 al 56% en 2030. En general, se prevé que la producción acuícola seguirá creciendo en todos los continentes, con diferencias en la variedad de especies y productos en los distintos países y regiones. Se espera que el sector se expanda sobre todo en África (un aumento del 48%) y en América Latina (un aumento del 33%). El crecimiento de la producción acuícola de África estará impulsado por la capacidad de cultivo adicional establecida en los últimos años, así como por las políticas locales de promoción de la acuicultura impulsadas por el aumento de la demanda local debido al mayor crecimiento económico. Sin embargo, a pesar de este crecimiento previsto, la producción acuícola general de África seguirá siendo limitada, con algo más de 3,2 millones de toneladas en 2030, y la mayor parte de ella (2,2 millones de toneladas) será producida por Egipto.

Figura 1: Producción mundial de la acuicultura

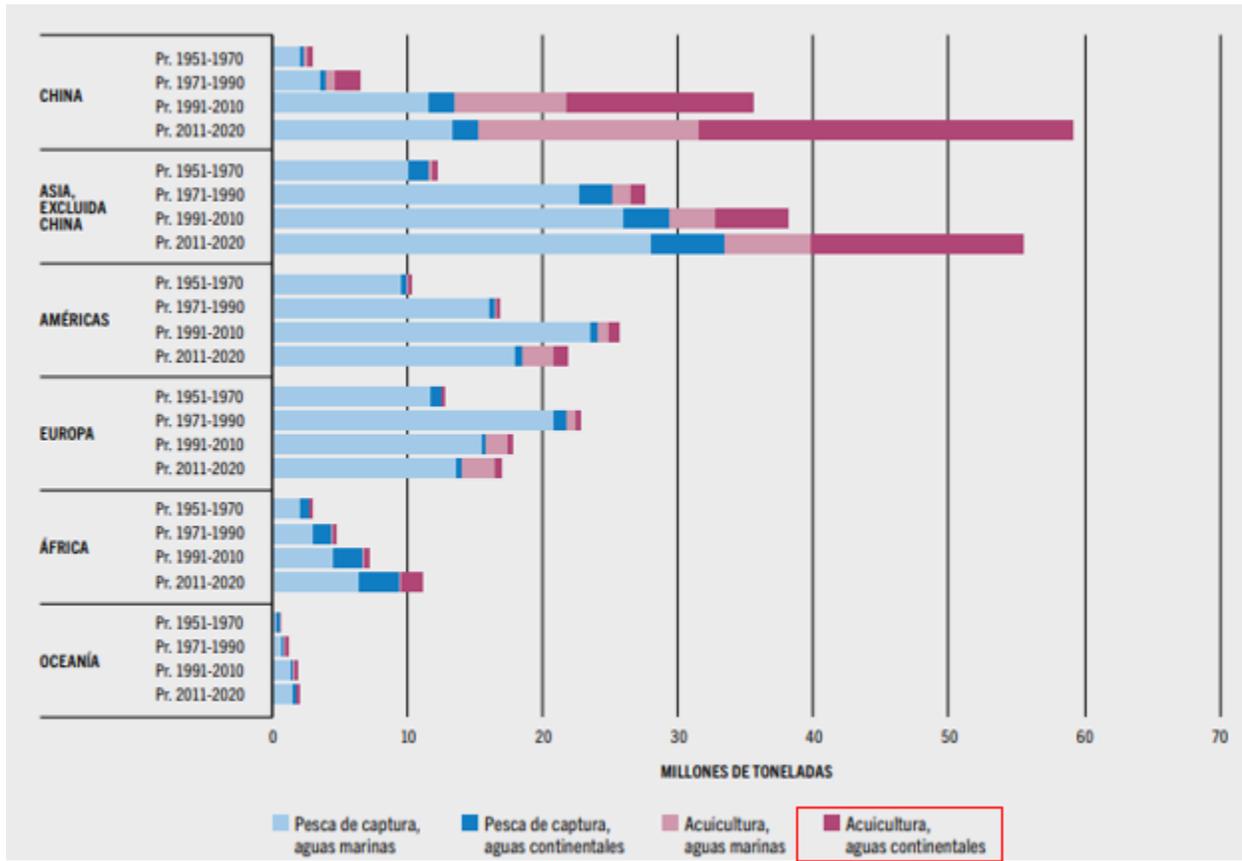


Fuente: FAO, 2022

Las perspectivas de la sobre la pesca y la acuicultura en 2030 apuntan a un incremento de la producción, el consumo y el comercio, aunque a ritmos de crecimiento más lentos. Se espera que la producción total de animales acuáticos alcance los 202 millones de toneladas en 2030, gracias principalmente a un crecimiento sostenido de la acuicultura, que se prevé que se sitúe en 100 millones de toneladas por primera vez en 2027 y 106 millones de toneladas en 2030.

En 2020, los países asiáticos eran los principales productores con el 70 % de la producción pesquera y acuícola total de animales acuáticos, seguidos por los países de las Américas (12 %), Europa (10 %), África (7 %) y Oceanía (1 %). En general, la producción pesquera y acuícola total ha experimentado importantes incrementos en todos los continentes en los últimos decenios.

Figura 2: Contribución regional a la producción acuícola



Fuente: FAO, 2022

La producción mundial de animales acuáticos se estimó en 178 millones de toneladas en 2020, lo que supone un ligero descenso en comparación con el récord histórico de 179 millones de toneladas registrado en 2018. De los 202 países y territorios que, según los registros de la FAO, se dedican actualmente a la producción acuícola, 109 han sido productores activos en los últimos años. El patrón irregular de distribución de la producción predominante entre las regiones y entre países de una misma región ha seguido siendo marcado y se ha mostrado prácticamente invariable en el último decenio, a pesar de haberse registrado importantes cambios en la producción absoluta. En los últimos dos decenios, Asia ha representado en torno al 89% de la producción acuícola mundial. En ese mismo período, África y las Américas han aumentado sus

proporciones respectivas en la producción total mundial, mientras que las correspondientes a Europa y Oceanía han disminuido ligeramente. FAO, 2018.

La producción mundial de animales acuáticos se estimó en 178 millones de toneladas en 2020, lo que supone un ligero descenso en comparación con el récord histórico de 179 millones de toneladas registrado en 2018. De los 202 países y territorios que, según los registros de la FAO, se dedican actualmente a la producción acuícola, 109 han sido productores activos en los últimos años. El patrón irregular de distribución de la producción predominante entre las regiones y entre países de una misma región ha seguido siendo marcado y se ha mostrado prácticamente invariable en el último decenio, a pesar de haberse registrado importantes cambios en la producción absoluta. En los últimos dos decenios, Asia ha representado en torno al 89% de la producción acuícola mundial. En ese mismo período, África y las Américas han aumentado sus proporciones respectivas en la producción total mundial, mientras que las correspondientes a Europa y Oceanía han disminuido ligeramente. FAO, 2018.

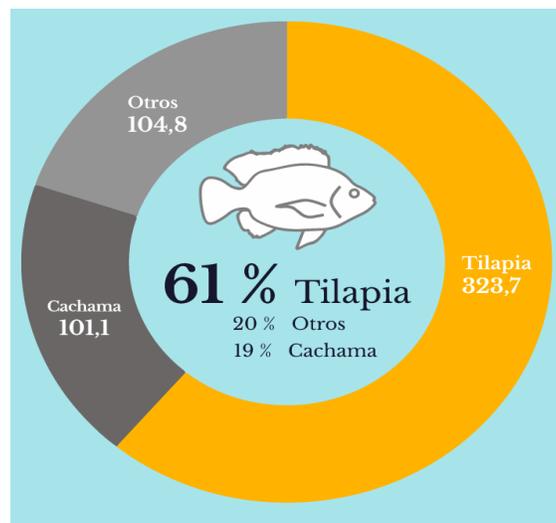
Figura 3: Producción de peces de aleta cultivados en jaulas o corrales en aguas

	2010			2015			2020		
	Producción total <i>(miles de toneladas, peso vivo)</i>	Producción del cultivo en jaulas	Contribución %	Producción total <i>(miles de toneladas, peso vivo)</i>	Producción del cultivo en jaulas	Contribución (%)	Producción total <i>(miles de toneladas, peso vivo)</i>	Producción del cultivo en jaulas	Contribución (%)
Cultivo en jaulas									
China (continental)	19 913	1 131	5,7	24 642	1 379	5,6	25 864	321	1,2
Indonesia	1 332	121	9,1	2 955	191	6,5	3 390	650	19,2
Bangladesh	1 147	1 831	2	0,1	2 294	5	0,2
Egipto	920	160	17,4	1 175	173	14,7	1 592	201	12,6
Tailandia	404	40	9,9	391	33	8,4	369	32	8,7
Filipinas	308	103	33,3	303	95	31,2	285	74	26,0
Federación de Rusia	115	25	21,6	138	30	21,6	189	59	31,2
Colombia	68	23	33,5	93	19	20,8	173	30	17,5
Turquía	79			101	70	69,0	128	100	78,0

Fuente: (FAO, 2022)

También se encontró que (Faria et al, 2021) hablan sobre el crecimiento que ha tenido la piscicultura en Brasil y el mundo en los últimos años, porque es una muy buena alternativa de proteína animal. Sin embargo, la forma como se practica en Brasil no es una alternativa sostenible, debido a que principalmente depende de especies exóticas, nativas de otras cuencas hidrográficas, países o continentes. El caso más conocido es la tilapia del Nilo o tilapia Nilótica, (*Oreochromis niloticus*), actualmente la especie más cultivada y consumida en Brasil, originaria de la cuenca del río Nilo, África, como su nombre lo dice, por lo tanto es una especie exótica en toda América, existe una razón considerable por la cual la tilapia nilótica es tan popular en piscicultura, es una especie que crece y se reproduce rápidamente, pero en lo que más se destaca es en su adaptabilidad a los cambios de las condiciones ambientales, convirtiéndola en ideal para cultivo intensivo: es decir gran cantidad de peces en un espacio reducido.

Figura 4. Producción piscícola en Brasil en miles de toneladas 2019



Fuente: (IBGE, 2020)

El cultivo intensivo de peces en tanques puede provocar innumerables cambios ambientales, como el crecimiento de algas tóxicas debido al aumento de la cantidad de nutrientes en el agua (restos de alimento y excrementos de peces), la transmisión de enfermedades a la fauna nativa y la asociación de otras especies invasoras. A pesar de la vasta evidencia que demuestra el impacto de la tilapia en el ambiente, el gobierno brasilero insiste en que este pez no es capaz de

establecerse en los embalses debido a su gran profundidad y a la presencia de depredadores. Mientras tanto, la producción de tilapia sigue creciendo y se incentiva cada vez más, incluso cuando el país está comprometido con agendas globales de erradicación de especies exóticas (Faria et al, 2021).

Por otro lado, es importante mencionar el panorama piscícola presenciado en México, donde la problemática que se generó entorno a la actividad acuícola debido a la unión de factores políticos, sociales y ambientales; que la mayor parte de la actividad se desarrolla en zonas rurales, existiendo una carencia de flujo de información hacia el sector productivo y una desarticulación de los sectores implicados. La actividad representa un impacto negativo en los cuerpos receptores, particularmente en donde la producción sea mayor a 10 ton/año, o en aquellos donde descarguen más de una unidad de acuícola y se alcance esta producción; sin embargo, hay que considerar el cuerpo de agua receptor ya que en lagunas se puede dar mayor deterioro de la calidad comparado con ríos y arroyos, debido al proceso de autorregulación natural de dichos sistemas. (Amaro, P. 2012).

Otra problemática alarmante de la acuicultura mexicana que mencionaron Álvarez (1996) y FAO (2006) es el uso descontrolado de los recursos hídricos continentales; en el estado de Hidalgo.

El estudio realizó una estimación teórica del aporte de nitrógeno y fósforo, los cuales son considerados como contaminantes básicos en la ley de aguas nacionales de México y tienen importancia ecológica en el proceso de eutrofización en los cuerpos receptores de agua (Hua et al. 2008). Se detectó que los sistemas intensivos en conjunto representan el mayor aporte anual de nitrógeno (6.9 t) y de fósforo (1.6 t); y por unidad de cultivo los sistemas super-intensivos son los que representan el mayor aporte con 295 kg de nitrógeno y 163.5 kg de fósforo por cada unidad productiva. En promedio se tiene que por cada tonelada de pescado se obtiene de forma residual 24.8 kg de nitrógeno y 11.5 kg de fósforo, los cuales podrían representar un peligro en el proceso de eutrofización de los cuerpos de agua, ya que hay cuerpos de agua abastecedores-receptores que proveen del recurso agua a varias granjas, como ejemplo la Laguna de Zacualtípán de la cual se abastecen y descargan cuatro granjas de cultivo intensivo, con flujos mayores a los 30 l/s.

2.1.2 Nacional

Guzmán (2018) realizó un análisis del contexto de vulnerabilidad y su evolución, en la investigación titulada “*La piscicultura como estrategia de adaptación y transformación de los medios de vida campesina*” a través del mapeo de la cadena piscícola en los municipios de Acacias y Castilla La Nueva-Meta, La piscicultura empezó a desarrollarse alrededor del año 1939 empleando trucha arcoíris, catalogada como una de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo. Su introducción al lago de Tota generó daños a especies nativas, además de representar un efecto negativo en la calidad del agua. Expertos afirman que el método actual de cultivo no es viable, pues conduce a un deterioro de la calidad de agua para uso y consumo, pues los restos de alimento junto con las heces producidas por esta especie generan acumulación de fósforo y concentraciones de amonio, así mismo, con el fin de contrarrestar enfermedades, se producen grandes cantidades de químicos y antibióticos generando el desarrollo de bacterias resistentes.

Jaramillo D. en su estudio sobre la contaminación del Lago de Tota en 2020 menciona que, a pesar de los beneficios económicos asociados a las prácticas agrícolas desarrolladas alrededor del lago de Tota, estas se han constituido en una problemática ambiental en constante ascenso en los últimos años, donde la salud, el desarrollo de las comunidades y los procesos ecológicos, se han visto afectados. El lago es una fuente hídrica de gran importancia a nivel regional y nacional dado su valor ambiental y económico, este último representado por actividades agrícolas, pecuarias y piscícolas. Estas actividades han contribuido a la contaminación observada en la actualidad, siendo esta una problemática ambiental en constante ascenso, donde la salud, el desarrollo de las comunidades y los procesos ecológicos, se han visto afectados, lo anterior conllevó a que el lago de Tota haya sido catalogado como uno de los ecosistemas más amenazados del planeta por la Red Mundial de Humedales, debido no sólo a las causas anteriormente mencionadas, sino a la disminución de la transparencia en la columna de agua en los últimos quince años. La contaminación del recurso hídrico se debe principalmente al uso de pesticidas y fertilizantes para los diferentes cultivos agrícolas que se desarrollan y que llegan por escorrentía al lago, vertimiento de aguas residuales, desechos de actividad pecuaria, así como a la actividad piscícola empleando trucha arcoíris

(Burbano et al, 2021), señala que los parámetros fisicoquímicos como el oxígeno disuelto, la temperatura, la conductividad eléctrica, pH, turbidez, DBO y de DQO permiten ver con claridad variaciones ambientales causadas por la acuicultura u otras actividades antrópicas.

Según la disponibilidad de oxígeno en cultivos, tanto en estanques de sistema cerrados, como en jaulas flotantes disminuye según la densidad del cultivo, puesto que a mayor número de peces por metro cúbico hay mayor consumo por parte de los animales, igual que los procesos de excreción y demás actividades biológicas dentro del cultivo generan procesos de oxidación de materia orgánica.

Adicionalmente demostró que no existe una relación directa entre la intensidad del cultivo y la temperatura del agua, aunque al disponer un mayor número de animales por metro cúbico la temperatura aumentará, por la acumulación de calor en el medio, puesto que la corriente en el área de las aulas es mucho más baja que la corriente fuera de ellas; así mismo, el oxígeno disponible disminuye y la tasa metabólica de los animales se inhibe cuando la temperatura no es adecuada para la especie; el incremento de la temperatura acelera el metabolismo de los peces consumiendo más concentrado y por consiguiente liberando más heces lo que ocasiona eutrofización en el agua.

Por otra parte, las diferencias de temperatura cuando aumenta la profundidad son significativas, disminuyendo a medida que la profundidad aumenta; esto se explica debido a que la masa de agua del lago no es uniforme, sino que existe una estratificación según la profundidad y la radiación solar, lo cual genera variabilidad de temperatura desde la superficie del agua hasta el fondo. se puede concluir que la temperatura en el lago se comporta de manera normal y los cultivos no afectan en gran medida al ambiente, sin embargo, se debe tener en cuenta la relación que tiene un parámetro en la mayoría de los procesos vitales de los organismos, así como en varios factores abióticos del ecosistema. Estas variables fisicoquímicas juegan un papel importante en la intensidad de los procesos fotosintéticos, remineralización de la materia orgánica y liberación de nutrientes desde los sedimentos.

El proyecto de investigación realizado por Rodríguez, “espacios de peces y energía. La transformación del río Magdalena en el centro del Huila: la represa de Betania”, asegura que el represamiento del río Magdalena en la represa Betania afectó las dinámicas de vida de las poblaciones de peces nativos del río y la migración de los peces por el cauce en épocas de subienda; el departamento del Huila era característico por peces como Bocachicos, Nicuros, Capaces y Cuchas. El represamiento de las aguas, dio lugar la introducción de la actividad piscícola, esta se sostiene a partir de la introducción de una especie foránea que compite con las especies locales por el oxígeno y el espacio en el cauce del río, llevando a los pescadores en los municipios cercanos a la represa a modificar su dinámica de pesca, cambiando la captura del Bocachico y el Capaz por la de Tilapia.

Por último, se trae a mención a Burbano E. 2018. Según su estudio Influencia de Cultivos Piscícolas en la Calidad del Agua y Comunidades Bacterianas en el Sedimento del Lago Guamúez, encontró que el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos como conductividad eléctrica, DBO, DQO y turbidez, reflejaron cambios significativos según la intensidad de cultivo, puesto que a mayor nivel de producción dichos parámetros tendieron a ser menos favorables para la calidad del agua, como para los animales en cultivo, sin embargo, los valores están dentro de rangos aceptables para lagos oligotróficos.

El amonio, los nitritos, nitratos y fósforo total medidos en el agua presentaron diferencias significativas demostrando que a mayor nivel de producción mayor es el aporte de nutrientes a la columna del agua alterando la calidad de esta. Si bien es cierto estos valores no representan un riesgo potencial para procesos de eutrofización en el lago, se debe prestar importancia al incremento de los cultivos puesto que pueden ocasionar mayores alteraciones al cuerpo lacustre.

En este orden de ideas se considera que el lago posee excelentes concentraciones de oxígeno, fenómeno que se explica por el movimiento continuo de las aguas a causa de los vientos que ayudan a la oxigenación de la columna del agua y que por ende para el cultivo de trucha arcoiris en jaulas son ideales para su crecimiento y no representan un riesgo potencial para este cuerpo lacustre (Roldan y Ramírez, 2008).

Los ambientes acuáticos poseen la capacidad de asimilar y transformar los residuos orgánicos mediante la acción de poblaciones bacterianas que se encuentran tanto en la columna de agua como en los sedimentos, siendo estas colonias las más importantes dentro del proceso de reciclamiento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en los cuerpos de agua dulce (Pantoja et al., 2004). Entre las poblaciones bacterianas encargadas de degradar compuestos nitrogenados se encuentran las bacterias nitrificantes las cuales tienen un papel importante, ya que por medio de la actividad biológica oxidan el amonio generado por la mineralización de los desechos.

Local

El Manual de Producción y Consumo Sostenible Gestión del Recurso Hídrico, desarrollado por (CORANTIOQUIA, 2014) destaca los impactos de la producción piscícola, específicamente la sedimentación de estanques, fenómeno directamente relacionado con la alteración de parámetros físico químicos en el agua, los autores ejemplifican la relación del uso e implementación de los alimentos concentrados de forma descontrolada con su posterior conversión en sedimento, así como las estrategias que se pueden implementar para lograr una reducción significativa de sedimentos en los fondos, medidas que de lograr ser implementadas a cabalidad, lograrán ejercer beneficios tanto a nivel ambiental como en rentabilidad de los productores.

También encontramos los retos que afrontan los pequeños productores con relación a los controles sanitarios, según lo mencionado por Correa et al, (2023) algunos pequeños productores ingresan al sector con la finalidad de generar autoconsumo o como alternativa para generar ingresos económicos. Discuten que los productores piscícolas, algunas veces por desconocimiento, suelen implementar de manera deficiente las medidas sanitarias establecidas en las “Buenas Prácticas de Producción Acuícola” (BPPA) que detallan los estándares de calidad e inocuidad para garantizar la salud del consumidor final. (Merino et al., 2013; FAO, 2020), dentro del estudio encontraron que algunos centros productivos registraron una concentración de oxígeno disuelto por debajo de 5 mg/L O₂ y pH por encima de 8,5 (valores por fuera de los rangos óptimos recomendados). Investigaciones anteriores han demostrado que la exposición por periodos largos a valores de pH no tolerables por la tilapia puede provocar cambios de comportamiento, daños de células epiteliales branquiales, reducción de la eficiencia en la

excreción de nitrógeno y aumento de su mortalidad (Briones-Pérez et al., 2017; ojwala et al., 2018).

Por otro lado, se encuentra El Centro de Estudios y de Investigación en Biotecnología - CIBIOT de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, quienes realizaron una investigación con el ánimo de cultivar *Espirulina*, un tipo de microalga que contiene alto porcentaje de proteína, para utilizarla como insumo del 'pienso' o concentrado con que se alimentan los peces cultivados en esa zona, alternativa que puede ser factible para minimizar las cargas de concentrado comercial y minimizar la concentración de sedimentos en el ejercicio de las prácticas de producción (Ocampo, 2021).

También se evidenció el estudio realizado por (Botero et al, 2006) quienes estudiaron la disminución de la reproducción, el crecimiento y la supervivencia de los peces debido a una alteración en la cantidad y calidad del agua, (parámetros fisicoquímicos del agua): baja concentración de oxígeno disuelto, alta tasa de saturación, incremento de CO₂ y disminución del pH, entre otros, comprometiendo drásticamente la producción de la piscícola. Los resultados obtenidos arrojaron que el excesivo crecimiento de pasto alrededor de la quebrada La Vega, invadiendo el lecho del curso de agua e impidiendo el flujo adecuado del agua hacia la Estación Piscícola, lo que acrecentó la competencia por oxígeno y mayor producción de materia orgánica, desencadenando un fenómeno de Eutroficación (UdeA, 2006).

Por consiguiente se menciona a Sierra et al, 2011, quienes analizaron los Factores de manejo y calidad de agua que predisponen enfermedades de las escamas de la Cachama Blanca (*Piaractus brachyomus*) en la estación experimental de San José del Nus, los resultados arrojaron medidas preventivas que procuran un suministro de agua limpia y ajustada a los parámetros exigidos para los peces por medio de una bocatoma, disminuyendo enfermedades virales bacterianas y parasitarias que puedan ser encontradas en los estanques. No obstante, también se encontró presencia de fosfato, agente que afectó la calidad del agua y que se ve directamente relacionado con la producción de algas por el proceso fotosintético.

2.2 Descripción del Problema

El crecimiento exponencial de la piscicultura ha generado preocupación por las negativas que esta actividad puede provocar en el medio ambiente. Se hace necesario el desarrollo de herramientas que permitan una correcta gestión de esta actividad, para que llegue a ser sostenible. (Rabassó, 2020)

Las prácticas habituales que se utilizan para el cultivo de peces impactan en el medio ambiente a través de distintas formas. Una de ellas es la alimentación de los peces la cual influye, tanto en la columna de agua como al fondo de los estanques y sus efectos pueden ser físicos, químicos y biológicos.

El proceso resulta de la utilización de alimento concentrado comercial para la alimentación de los peces generando una gran adición de fosfatos, nitratos y otros nutrientes cuyo impacto se puede ver reflejado notoriamente la sedimentación de los estanques. Las investigaciones recopiladas han detectado que este último fenómeno afecta aumentando la cantidad de nitrógeno y fósforo de los sistemas acuáticos, disminuyendo el oxígeno disponible, generando eutrofización y estimulando la aparición de algunos organismos y la ausencia de otros, alterando gravemente los ecosistemas acuáticos, el exceso de nutrientes que genera la aceleración del proceso y ocasiona el crecimiento acelerado de algas, la muerte de peces, la modificación de los micro ecosistemas acuáticos bentónicos y demás flora y fauna acuática, lo que conlleva a la generación de condiciones anaerobias.

Cerca del 85 % del fósforo, un 80-88% del carbono y un 52-95% del nitrógeno introducido en las jaulas pueden pasar al medio acuático a través de los desechos de la comida, las excreciones de los peces, la producción de heces y la respiración. Una gran cantidad de alimentos no consumidos y desechos corporales que se liberan al medio ambiente. Este aumento antinatural de nutrientes a menudo da como resultado la creación de floraciones de algas, que pueden afectar negativamente a las especies nativas al reducir la cantidad de oxígeno disponible en el agua.

Por otro lado, en la estación piscícola san José del Nus se capta el agua para los cultivos de la micro cuenca de la quebrada La Vega, alrededor de esta quebrada se desarrollan actividades de

tipo antrópico, como la tala de bosque y la ganadería extensiva. Adicionalmente se aplican agroquímicos en algunas áreas de influencia directa de la corriente. Todas estas actividades pueden modificar las condiciones ambientales y consecuentemente, alterar la calidad del agua y afectar su ecosistema acuático (Gaia, 2004).

En la estación piscícola ya se han evidenciado la eutrofización en el año 2006, como consecuencia de las disposiciones de fertilizantes aguas arriba de la de la quebrada La Vega (Botero, 2006), fenómeno que se logró evidenciar en la primera visita de campo que se realizó febrero 2024, el avistamiento de algas en la superficie del lago, por donde ingresa el caudal proveniente del canal de conducción, esto pudo darse lugar debido a la fuerte temporada de sequía por la cual se atravesaba y el mínimo caudal que ingresaba a la unidad.

También en algunas ocasiones se han presentado esporádicamente virus, hongos y parásitos sobre los cultivos, en la Estación Piscícola san José del Nus, tales como Girodactilus, Dactilogirus, Trichodina, Epidtiles, Oodinium, Fleivacater Columnaris, Aeromona Hydrophyla, Aeromona Septicemia, Saprolegniasis. Eventualidades que pueden ser normales si no se toman medidas adecuadas, por esta razón la estación como medidas de prevención y control de dichos patógenos utiliza productos, como el Paraguair, sal, Peróxido, Cal viva, Amguard, Stressguard y Triple 15.

Por otro lado es muy importante mencionar el estado de emergencia sanitaria actual en Colombia, debido a la presencia de una bacteria encontrada en procesos de producción piscícola que afecta los cultivos, en julio del año 2023 “*Streptococcus Agalactiae* ST7 serotipo Ia”, inicialmente en el departamento del Huila y luego en los departamentos de Atlántico, Magdalena y Tolima, se trata de una bacteria grampositiva (gram+) que causa pérdidas en la producción a nivel mundial por la mortalidad de peces derivada por la presencia de la misma, y cuyos principales signos clínicos incluyen letargia, nado errático, exoftalmia, lesiones en piel, cola, aletas, y muerte de los peces, (ICA, 2023). Este agente patógeno no afecta la salud humana, pues, no es una enfermedad zoonótica. Sin embargo, si afecta la producción y sostenibilidad del sector. La ya mencionada emergencia sanitaria fue emitida bajo la resolución No.6535 del 07 de

julio /2023 “Por la cual se declara el Estado de Emergencia Sanitaria en el territorio nacional por la presencia de *Streptococcus Agalactiae* ST7 serotipo Ia”.

Por todo lo anteriormente mencionado, se establece la siguiente pregunta a la que se quiere dar respuesta como resultado de este trabajo:

¿Cómo afectan las prácticas de producción piscícola a la calidad del agua?

3 Justificación

La piscicultura es una práctica que acarrea consigo muchas ventajas, sin embargo, a medida que avanza el tiempo se ha evidenciado que también es causal de impactos ambientales de distintas formas, debido a que la esencia de la piscicultura es cultivar numerosas cantidades en espacios reducidos, esta concentración del entorno puede influir en problemas importantes al medio ambiente. Como alteración de propiedades físicas del suelo por consecuencia de remoción de la cobertura vegetal, incremento de las cargas de agua con desechos de la actividad generando eutrofización, contaminación por la generación de desechos biológicos (peces muertos durante el cultivo) y la inadecuada disposición de estos.

La producción piscícola en Colombia representa una actividad económica de creciente importancia, no solo por su contribución al suministro de alimentos y a la generación de empleo, sino también por su potencial para el desarrollo sostenible de las comunidades rurales. Sin embargo, esta actividad lleva consigo el reto de equilibrar la productividad con la preservación de los recursos hídricos, fundamentales para la supervivencia de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Adicionalmente se encuentra muy poca jurisprudencia ambiental ligada a la actividad piscícola y una pobreza normativa relacionada con las buenas prácticas de producción piscícola. En este contexto, la calidad del agua emerge como un aspecto crítico que requiere una atención meticulosa, dado que las prácticas de producción piscícola pueden influir significativamente en su estado, afectando no solo la biodiversidad acuática sino también la salud humana y la viabilidad a largo plazo de la propia industria piscícola.

En el 2018 se estimó una producción mundial de 179 millones de toneladas de pescado, donde 82 millones, provienen de la producción acuícola, de estos, para el consumo humano se destinaron 156 millones generando un consumo per cápita de 20,5 kg, y para los subproductos del pescado como la harina y aceite fueron destinados 22 millones de toneladas (FAO, 2020). Para Colombia el consumo per cápita de pescado anual para el 2021 fue de 9,60 kg (AUNAP, 2022).

La creciente demanda de productos acuícolas ha impulsado la expansión de la producción piscícola en Colombia, lo que conlleva un uso más intensivo de los cuerpos de agua y, por ende, una mayor presión sobre estos recursos. Las prácticas de cría, alimentación y manejo del agua, si no se realizan de manera sostenible, pueden resultar en la eutrofización de los cuerpos de agua, la introducción de especies invasoras, la alteración de hábitats y la contaminación por productos químicos y residuos orgánicos. Estos factores pueden comprometer la calidad del agua, disminuyendo su disponibilidad para otros usos y afectando adversamente a las especies acuáticas y a los ecosistemas que dependen de ella.

Dada la importancia de los recursos hídricos para el desarrollo sostenible del país, es crucial investigar el impacto de la producción piscícola en la calidad del agua en Colombia. Este trabajo permitirá comprender las prácticas actuales de producción y cómo estas influyen en los cuerpos de agua, aportando datos esenciales para contribuir a otros esfuerzos orientados hacia la formulación de políticas y estrategias que promuevan una acuicultura responsable. Al evaluar detalladamente los parámetros fisicoquímicos y biológicos de las áreas de producción, así como identificar los contaminantes presentes, se podrán establecer las bases para mitigar los efectos adversos sobre los ecosistemas acuáticos y asegurar la sostenibilidad de esta actividad económica.

Además, identificar los impactos ambientales asociados a la producción piscícola es fundamental para proteger la biodiversidad acuática y los ecosistemas circundantes. Los efectos sobre la calidad del agua no solo tienen implicaciones para la vida acuática, sino también para la salud humana, especialmente en comunidades que dependen directamente de estos recursos para su consumo y actividades cotidianas. Por lo tanto, este trabajo no solo busca aportar al conocimiento científico y técnico en el ámbito de la acuicultura, sino también contribuir a la toma de decisiones informadas que favorezcan un equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación ambiental en Colombia.

Este trabajo es importante para la estación piscícola san José del Nus, debido a que se hace una revisión detallada de los informes de laboratorio realizados en los años 2019, 2021, 2022 y 2023; se pretende analizar las tendencias de los parámetros fisicoquímicos, adicionalmente se analizan

los procesos y prácticas de producción ejecutadas dentro de la estación y se comparan con otras piscifactorías, para finalmente brindar recomendaciones sobre las medidas que pueden implementar en pro del cuidado y conservación de la calidad del agua de la quebrada La Vega, fuente de abastecimiento de la estación y receptora de posteriores vertimientos generados.

En resumen, la justificación de este trabajo radica en la necesidad imperativa de entender y mitigar los impactos negativos de la producción piscícola en la calidad del agua en La Estación Piscícola San José del Nus, con el fin de asegurar la sostenibilidad de esta actividad económica vital y la conservación de los recursos hídricos. Este estudio no solo es relevante para los productores y los gestores de recursos hídricos, sino también para la sociedad en general, ya que subraya la importancia de adoptar prácticas de producción más sostenibles y responsables con el ambiente.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Analizar desde la literatura el efecto de las prácticas de producción piscícola en Colombia sobre calidad del agua, considerando como caso de estudio La Estación Piscícola San José del Nus, 2019 - 2023

4.2 Objetivos Específicos

1. Especificar las prácticas de producción piscícola, incluyendo los métodos, alimentación, sustancias químicas y manejo del agua utilizados por los productores en Colombia
2. Describir las prácticas y métodos de producción piscícola implementados La Estación Piscícola San José del Nus.
3. Revisar los impactos de las prácticas de producción piscícola sobre calidad del agua, destacando los efectos sobre la biodiversidad acuática, y los ecosistemas circundantes, así como sus implicaciones para la salud humana y la sostenibilidad del sector.
4. Analizar la calidad fisicoquímica, biológica y otros posibles contaminantes presentes en el agua de La Estación Piscícola San José del Nus a través de los informes realizados por los laboratorios G-LIMA y LabGIGA.

5 Marcos teórico

El marco teórico del trabajo aborda las dinámicas de alteración en la calidad del agua en sistemas de producción piscícola en Colombia, haciendo énfasis en los impactos físicos, químicos y biológicos generados por estas prácticas. La acuicultura, específicamente la piscicultura, es reconocida por su contribución significativa a la economía y seguridad alimentaria; sin embargo, sus efectos sobre los ecosistemas acuáticos son motivo de creciente preocupación.

Este trabajo se centra en determinar la influencia de los cultivos piscícolas en la calidad del agua, identificando los principales parámetros fisicoquímicos alterados. Se reconoce que la piscicultura intensiva puede modificar significativamente parámetros como la temperatura, el pH, la oxigenación, y la concentración de nutrientes y compuestos orgánicos e inorgánicos en el agua. Estas alteraciones son consecuencia directa de la excreción y defecación de los peces, así como de la disolución de alimentos concentrados, introduciendo nitrógeno y fósforo que pueden promover la eutrofización y afectar la biodiversidad acuática.

Se tiene como fin último no solo identificar y comprender las alteraciones causadas por la piscicultura, sino también proponer alternativas sostenibles y prácticas de manejo que mitiguen los efectos negativos sobre la calidad del agua. Esto implicará una exploración detallada de las interacciones entre los componentes físicos, químicos y biológicos del agua y la producción piscícola, enfatizando la necesidad de un equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación de los ecosistemas acuáticos.

5.1.1 Calidad del Agua

La calidad del agua constituye un aspecto fundamental para la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres, así como para el bienestar humano. Esta se ve influenciada por diversos factores físicos, químicos y biológicos, cuya comprensión es esencial para evaluar los impactos ambientales de actividades humanas como la producción piscícola. En este contexto, la literatura científica reciente ofrece una amplia gama de estudios que abordan desde los métodos de evaluación de la calidad del agua hasta las consecuencias de su deterioro en diferentes entornos.

Según Jiménez et al. (2018), la calidad del agua (ICA) se evalúa mediante indicadores que reflejan la presencia de nutrientes, la carga orgánica, la presencia de contaminantes químicos y la biodiversidad microbiana. Estos indicadores son cruciales para determinar la capacidad de un cuerpo de agua para sostener la vida acuática y para su uso en actividades humanas. La concentración de nitratos y fosfatos, por ejemplo, es un indicador importante de la eutrofización, un proceso que puede llevar a la proliferación de algas nocivas y a la disminución de oxígeno en el agua, afectando gravemente a los ecosistemas acuáticos (Pérez et al., 2019).

La alteración de los hábitats acuáticos mediante la introducción de especies no nativas, común en la acuicultura, también puede tener efectos significativos en la calidad del agua. Moreno et al. (2020) destacan cómo estas especies pueden alterar los ciclos de nutrientes y la cadena alimentaria, llevando a cambios en la composición química del agua. Además, la acumulación de residuos orgánicos derivados de la alimentación de los peces aumenta la demanda bioquímica de oxígeno, lo que puede resultar en zonas hipóxicas donde la vida acuática es insostenible.

El manejo inadecuado de los recursos hídricos en la acuicultura no solo afecta la biodiversidad y la calidad del agua, sino que también puede tener implicaciones directas en la salud humana. Según González et al. (2021), los contaminantes químicos, como los metales pesados y los residuos de medicamentos veterinarios, pueden acumularse en la cadena alimenticia, presentando riesgos para los consumidores de productos acuícolas. Esto subraya la necesidad de estrategias de manejo sostenible y de regulaciones estrictas para asegurar que la producción piscícola no comprometa la calidad del agua.

Silva et al. (2022) discuten el potencial de los sistemas de recirculación acuícola (RAS, por sus siglas en inglés) para reducir la descarga de nutrientes y residuos, al reutilizar el agua dentro de las instalaciones de producción. Estos sistemas representan una alternativa prometedora para mejorar la sostenibilidad de la acuicultura, minimizando su huella ambiental en los cuerpos de agua.

La presencia de compuestos farmacéuticos y químicos en sistemas de producción piscícola es otro aspecto crítico que incide en la calidad del agua. Estos compuestos incluyen antibióticos,

desinfectantes, y otros productos químicos empleados para mantener la salud de los peces y asegurar la productividad de las piscifactorías. Sin embargo, el uso inadecuado o excesivo de estos productos puede conducir a la contaminación del agua, afectando no solo a los organismos acuáticos sino también a la salud humana y a la sostenibilidad del ecosistema.

Torres y Ramírez (2020) investigaron los efectos residuales de los antibióticos comúnmente utilizados en la piscicultura, como la oxitetraciclina y la eritromicina, sobre la calidad del agua. Sus estudios indican que estos compuestos pueden persistir en el ambiente acuático mucho tiempo después de su aplicación, alterando el microbiota natural y promoviendo la resistencia a antibióticos en bacterias patógenas (Mendoza y Suárez, 2022). La persistencia de estos compuestos en el agua puede generar cadenas de efectos nocivos, como la disminución de la biodiversidad acuática y el deterioro de los procesos naturales de depuración del agua.

Por su parte, Gómez y Castillo (2021) exploraron las consecuencias del uso de desinfectantes en la calidad del agua, centrándose en cómo estos químicos pueden reaccionar con la materia orgánica presente en el agua para formar subproductos potencialmente tóxicos. Los autores destacaron la importancia de optimizar el uso de desinfectantes y de desarrollar protocolos de tratamiento y desinfección del agua que minimicen la formación de subproductos nocivos, preservando así la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos.

Además, la investigación se centró en las prácticas de manejo y su relación con la presencia de residuos químicos en el agua. Los autores recalcaron que la gestión inadecuada de estos productos, incluyendo el almacenamiento, la dosificación y la disposición de residuos, contribuye significativamente a la contaminación del agua. Por tanto, propusieron la implementación de prácticas de manejo integrado y la adopción de sistemas de tratamiento de agua para reducir la carga de compuestos químicos y farmacéuticos.

Estos estudios resaltan la necesidad de abordar de manera integral la gestión de compuestos químicos y farmacéuticos en la producción piscícola. La implementación de buenas prácticas de manejo, el uso responsable y medido de productos químicos, y la adopción de tecnologías de

tratamiento y recirculación del agua son estrategias clave para mitigar los efectos negativos sobre la calidad del agua y promover una acuicultura sostenible y responsable con el medio ambiente.

Además de la presencia de compuestos farmacéuticos y químicos, la alteración de la estructura y dinámica de las comunidades biológicas en los ecosistemas acuáticos constituye un factor crucial en la evaluación de la calidad del agua en sistemas de producción piscícola. La introducción de especies exóticas, el desequilibrio en las relaciones depredador-presa, y la alteración de los hábitats naturales son aspectos que pueden tener efectos profundos y duraderos en la biodiversidad acuática y en la estabilidad de los ecosistemas.

En este contexto, los trabajos de Navarro y Fernández (2019) se centraron en analizar el impacto de la piscicultura en la estructura de las comunidades de peces y en la biodiversidad acuática. Los autores observaron que la introducción de especies de peces no nativas para la acuicultura puede desplazar a especies endémicas, alterar la cadena alimenticia y provocar cambios irreversibles en la composición y estructura de las comunidades biológicas. Este fenómeno puede resultar en la pérdida de biodiversidad y en la disminución de la resiliencia de los ecosistemas frente a perturbaciones ambientales.

Por otro lado, el estudio de Vargas y López (2020) se enfocó en los efectos de la alteración de hábitats en la dinámica de los ecosistemas acuáticos. La construcción de estanques y otras infraestructuras para la acuicultura a menudo conlleva la modificación de hábitats naturales, lo que puede resultar en la fragmentación de ecosistemas, la alteración de los flujos hídricos y la disminución de la calidad del hábitat para muchas especies acuáticas y terrestres. Los autores destacaron la importancia de implementar medidas de gestión y diseño de infraestructuras que minimicen el impacto ambiental y fomenten la conservación de hábitats naturales.

Además, la investigación de Morales y Pérez (2021) abordó la problemática de la eutrofización y su impacto en las comunidades biológicas acuáticas. Los autores señalaron que el enriquecimiento de nutrientes en el agua debido a las prácticas piscícolas puede provocar floraciones de algas nocivas, lo que a su vez puede conducir a la disminución de oxígeno disuelto y a la producción de toxinas que afectan la salud de peces y otras formas de vida

acuática. Las floraciones de algas también pueden afectar la penetración de luz en el agua, alterando así los procesos fotosintéticos y la cadena alimenticia acuática.

Índices de Calidad del Agua

El agua, esencial para la vida y el desarrollo de las actividades humanas, debe contar con ciertas características que determinen su calidad, Los ICA tienen como objeto la estimación de un número generalmente entre 0 y 1, ó 0 y 100, que define el grado de calidad de un determinado cuerpo lotico continental. Con ello se pretenden reconocer, de una forma ágil y fácil, problemas de contaminación, sin tener que recurrir a la observación de cada una de las numerosas variables fisicoquímicas determinadas. Las bondades resultan mayores cuando se evalúa una cantidad amplia de cursos hídricos, o incluso, si solamente se estudia uno, pero en forma periódica.

El agua es imprescindible para la vida, pero su calidad es un factor determinante para su uso seguro y efectivo. Para medir esta, se utilizan diferentes índices de calidad de agua que reflejan su grado de contaminación y su aptitud para diferentes propósitos, consumo humano, agrícola, industrial, recreativo, Etc. (IDEAM, 2015).

Los 9 parámetros que determinan el índice de calidad del agua son vitales para entender la salud general de un cuerpo de agua. Estos parámetros son los siguientes:

1. **Temperatura del agua:** Esta puede afectar directamente los niveles de oxígeno y la actividad biológica en el agua.
2. **pH:** Este parámetro mide la acidez o la alcalinidad del agua. Un pH equilibrado es crucial para la vida acuática.
3. **Oxígeno Disuelto:** Es vital para los organismos acuáticos, y bajos niveles pueden indicar contaminación.
4. **Turbidez:** Se refiere a qué tan claro está el agua, su transparencia. Un alto nivel puede indicar la presencia de bacterias, virus, o sustancias químicas.

5. **Conductividad eléctrica:** Mide la capacidad del agua de conducir corriente eléctrica, lo cual puede ser afectado por la presencia de sales y otros minerales disueltos.
6. **Niveles de nitrógeno y fósforo:** Estos nutrientes pueden contribuir al crecimiento excesivo de algas y otras plantas acuáticas, lo que altera el equilibrio del ecosistema acuático.
7. **Dureza del agua:** Se refiere a la concentración de minerales disueltos en el agua, especialmente calcio y magnesio.
8. **Cantidad de Sólidos Disueltos Totales:** Representan la cantidad total de todos los compuestos inorgánicos y orgánicos disueltos en el agua.
9. **Niveles de clorofila:** Es un indicativo de la cantidad de algas presentes en el agua, lo cual puede afectar los niveles de oxígeno y turbidez.

Tabla 1. Rangos de ponderación para la calidad del agua

RANGO DE PONDERACIÓN	CRITERIO
Para un puntaje total ponderado de todos los parámetros que arroje un resultado menor o igual a 25	PÉSIMA
Para un puntaje total ponderado de todos los parámetros que arroje un resultado entre 26 y 50	MALA
Para un puntaje total ponderado de todos los parámetros que arroje un resultado entre 51 y 70	REGULAR
Para un puntaje total ponderado de todos los parámetros que arroje un resultado entre 71 y 90	BUENA
Para un puntaje total ponderado de todos los parámetros que arroje un resultado entre 91 y 100	EXCELENTE

Fuente: Informe estación piscícola san José del Nus

No obstante, el desarrollo de índices de contaminación (ICO) (Ramírez et al., 1997) ha demostrado enormes ventajas sobre los ICA, pues estos últimos involucran numerosas variables, hecho que conlleva a diversos problemas conceptuales y de interpretación tales como:

- Una muestra de agua puede aparecer como de buena calidad, a pesar de que alguna(s) variable(s) exhiban un elevado grado de contaminación, puesto que la presencia conjunta de múltiples variables esconde o enmascaran tal condición. La ponderación de la incidencia de cada uno de estos factores, en la determinación final del ICA, es subjetiva y, por ende, susceptible de proporcionar resultados diversos bajo las mismas condiciones, porque depende del criterio del profesional a cargo de la investigación y evaluación de los resultados obtenidos.
- Dos cuerpos de agua con condiciones fisicoquímicas ampliamente opuestas pueden obtener un igual valor del índice de calidad ICA. Por tanto, éstos pueden conducir a falsas interpretaciones.
- Sobre un programa de monitoreo, en un cuerpo de agua particular, algunas variables podrían mejorar su calidad en el tiempo, mientras otras podrían exhibir mayor deterioro. Unos y otros eventos no se harán explícitos y, por tanto, quedan ocultos y no podrá conocerse con precisión lo que sucede en el cuerpo de agua evaluado.
- Los ICA no permiten esclarecer condiciones particulares, por lo que el investigador debe retornar a los registros fisicoquímicos primarios.
- No permiten relacionar organismos indicadores con problemas ambientales específicos.

Índices de Contaminación

El desarrollo de índices de contaminación, para valoración de la calidad de las aguas continentales, fue abordado por Ramírez *et al.*, (1997), a partir de los resultados arrojados por la estadística multivariada de análisis de componentes principales, el cual ha sido usado de manera recurrente en otras latitudes y en Colombia para la caracterización de aguas dulces acuícolas y marinas.

Esta técnica estadística fue aplicada en extensos programas de monitoreo, implementados por la industria del petróleo sobre diferentes regiones de Colombia (Oleoducto de Colombia - Ecopetrol ICP., 1993, Ocesa - Ecotest, 1997, BP Exploration - Ecotest, 1998) y gracias a ellos se

identificaron correlaciones frecuentes y reiteradas entre múltiples variables físicas y químicas, las cuales dieron origen a la formulación de los siguientes cuatro índices de contaminación:

Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI): El ICOMI es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables elegidas, las cuales se definen en un rango de 0 - 1; índices próximos a cero (0) reflejan muy baja contaminación por mineralización, e índices cercanos a uno (1), lo contrario, se expresa en numerosas variables, de las cuales se eligieron: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonatos y bicarbonatos.

Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO): Al igual que en la mineralización, se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionaron Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como lo demuestra la ausencia de correlaciones entre ellas.

Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS): Se determina tan sólo mediante la concentración de sólidos suspendidos. Si bien esta variable observó alguna correlación de importancia con la Demanda de Oxígeno (DBO y DQO) y con el amonio, se desagregó de las anteriores por cuanto estas últimas corresponden con claridad a procesos de contaminación orgánica, mientras que los sólidos suspendidos bajo muchas circunstancias podrían perfectamente hacer referencia tan sólo a compuestos inorgánicos.

Índice de Contaminación Trófico (ICOTRO): Se determina en esencia por la concentración del fósforo total. Como se observa, hay una alta correspondencia entre las variables involucradas en los ICO y aquellas definidas por otros autores en los ICA. De igual modo, las relaciones índices - concentración para las variables coincidentes, resultan muy próximas entre sí.

Índice de Contaminación por pH (ICOpH) Como ya es sabido la lectura del pH principalmente sirve para determinar si una sustancia resulta ser acida, básica o dado el caso

neutro, dentro de la normatividad existente se ha establecido que los valores extremos permitidos para lecturas de pH deben encontrarse entre 5.0 y 9.0.

Tabla 2. Rangos de ponderación para la contaminación del agua

ICO's	GRADO DE CONTAMINACIÓN
0-0,2	Ninguna
>0,2-0,4	Baja
>0,4-0,6	Media
>0,6-0,8	Alta
>0,8-1,0	Muy Alta

Fuente: Informe estación piscícola san José del Nus

Carga contaminante: Es la masa de un contaminante específico que ha sido vertida en un ambiente determinado y en un periodo de tiempo

La carga contaminante (kg/día) se calcula de la siguiente manera:

$$Carga\ Contaminante = Qp * Concentracióni * fc * t$$

Dónde:

Qp = Caudal promedio (L/s)

Concentración = Concentración del parámetro analizado (mg/L)

fc: factor de conversión equivalente a 0.0036

T: Tiempo de vertimiento del usuario en horas por día (h)

5.1.2 Prácticas de Producción Sostenible (A Nivel Mundial)

La gestión del recurso hídrico en sistemas de producción piscícola representa un elemento fundamental para la sostenibilidad de la acuicultura y la conservación de los ecosistemas acuáticos. La eficiencia en el uso del agua, el tratamiento y reciclaje de efluentes, así como la adopción de prácticas de manejo que reduzcan el impacto ambiental, son aspectos críticos que deben ser considerados para minimizar las alteraciones en la calidad del agua y promover una producción piscícola responsable.

La eficiencia hídrica en la acuicultura se refiere a la optimización del uso del agua en los procesos productivos, buscando maximizar la producción de peces por unidad de agua utilizada. Esto implica la implementación de tecnologías y prácticas de manejo que permitan reducir el consumo de agua, reciclarla y reutilizarla en diferentes etapas del proceso productivo. Sistemas de recirculación, representan un avance significativo en este sentido, al permitir la purificación y reutilización del agua dentro del sistema, reduciendo la necesidad de extracción de agua nueva y la emisión de efluentes al medio ambiente.

El tratamiento de efluentes es otro componente esencial en la gestión del recurso hídrico. Los efluentes de la producción piscícola suelen contener materia orgánica, nutrientes, compuestos químicos y farmacéuticos que, si no son tratados adecuadamente, pueden contaminar los cuerpos de agua receptores. Técnicas como la filtración, la sedimentación, el tratamiento biológico, y los sistemas de humedales artificiales se emplean para eliminar o reducir estos contaminantes antes de que el agua sea descargada al medio ambiente o reutilizada en el sistema.

Además, la adopción de buenas prácticas de manejo en la acuicultura es fundamental para la gestión sostenible del recurso hídrico. Estas prácticas incluyen la alimentación eficiente, el manejo adecuado de los productos químicos y farmacéuticos, la prevención y control de enfermedades, y la conservación de los hábitats acuáticos. La implementación de estas prácticas contribuye no solo a la reducción del impacto ambiental, sino también a la mejora de la productividad y rentabilidad de la producción piscícola. Una de las estrategias fundamentales para la sostenibilidad en la acuicultura es el uso de sistemas de recirculación. Estos sistemas

permiten el tratamiento y reutilización del agua, reduciendo significativamente la necesidad de captar agua nueva y minimizando la descarga de efluentes contaminados en los cuerpos de agua naturales. Investigaciones realizadas por Silva et al. (2022) destacan cómo los sistemas de recirculación de aguas pueden disminuir el impacto ambiental de la piscicultura, mejorando la calidad del agua y reduciendo la huella hídrica de las operaciones.

En el ámbito global, la adopción de prácticas de producción sostenible en la piscicultura ha cobrado una importancia creciente ante la necesidad de alimentar a una población mundial en expansión, al mismo tiempo que se minimizan los impactos negativos sobre el medio ambiente y los recursos acuáticos. Estas prácticas buscan equilibrar el crecimiento económico con la conservación ambiental, asegurando la viabilidad a largo plazo del sector acuícola.

Otro aspecto crucial en la producción sostenible de peces es la selección y desarrollo de alimentos acuícolas más eficientes y ambientalmente amigables. Tradicionalmente, los piensos acuícolas han dependido en gran medida de harina y aceite de pescado, cuya producción puede ejercer presión sobre las poblaciones silvestres de peces. Para abordar este desafío, estudios como los de Martínez et al. (2019) han explorado alternativas como las proteínas vegetales, insectos y subproductos agroindustriales, que no solo reducen la dependencia de los recursos marinos, sino que también disminuyen el impacto ambiental de los alimentos acuícolas.

La gestión responsable de enfermedades y el uso prudente de productos químicos y antibióticos son igualmente importantes para una acuicultura sostenible. El abuso de estos productos puede conducir a la resistencia a los antibióticos y al deterioro de la calidad del agua. Investigadores como Hernández et al. (2018) han enfatizado la importancia de las prácticas de bioseguridad y el manejo integrado de la salud de los peces para reducir la necesidad de intervenciones químicas y promover sistemas de producción más resilientes.

La certificación de sostenibilidad se ha convertido en una herramienta clave para promover prácticas responsables en la acuicultura. Estándares y certificaciones, como los desarrollados por el Aquaculture Stewardship Council (ASC) y la Marine Stewardship Council (MSC), evalúan las operaciones acuícolas en términos de impacto ambiental, bienestar animal y responsabilidad

social. Como señalan González et al. (2021), estas certificaciones no solo ayudan a mejorar las prácticas de producción, sino que también permiten a los consumidores tomar decisiones informadas, fomentando así el crecimiento de un mercado más sostenible para los productos acuícolas.

Finalmente, la integración de la acuicultura con otras actividades agrícolas, conocida como sistemas de acuaponía o agro acuicultura, representa una innovadora aproximación hacia la sostenibilidad. Estos sistemas combinan el cultivo de peces con la producción de plantas, creando un ciclo cerrado donde los desechos de los peces sirven como nutrientes para las plantas, y las plantas a su vez purifican el agua para los peces. Investigaciones como las de Pérez et al. (2019) ilustran cómo estos sistemas pueden maximizar la eficiencia del uso del agua y los nutrientes, reduciendo al mismo tiempo los impactos ambientales de la producción de alimentos.

En conjunto, estas prácticas de producción sostenible reflejan un compromiso creciente con la minimización de los impactos ambientales de la acuicultura y el fomento de un sector más resiliente y responsable. A medida que la demanda global de productos acuícolas continúa creciendo, la adopción de estas prácticas será fundamental para asegurar la sostenibilidad de la producción piscícola a nivel mundial.

5.1.3 Calidad del Agua para Piscicultura

El agua empleada en piscicultura debe cumplir ciertos parámetros que garanticen un entorno saludable para los peces (Ver Tabla 3). Según Vidal et al., 2017 la temperatura, la concentración de oxígeno, el contenido de sales minerales, el pH y los niveles de contaminantes son algunos de los aspectos clave a considerar. Estos factores pueden variar dependiendo del tipo de pez y su origen geográfico, pero todos ellos tienen un impacto directo en el crecimiento, la salud y la supervivencia de los peces.

Un manejo inadecuado de la calidad del agua puede provocar estrés en los peces, lo que reduciría la eficiencia en la utilización de los alimentos, ralentizaría el crecimiento y aumentaría la susceptibilidad a enfermedades. Por otro lado, un agua de mala calidad puede acumular residuos y desechos orgánicos que generen la proliferación de patógenos y parásitos perjudiciales.

Es por eso que la monitorización constante de la calidad del agua, así como la implementación de medidas correctivas cuando sea necesario, son partes fundamentales en cualquier operación de piscicultura. El reto es mantener las condiciones ideales durante todas las etapas del ciclo de vida de los peces.

Por tanto, la calidad del agua en piscicultura es un pilar fundamental para garantizar una producción acuícola saludable, sostenible y rentable. Esto se convierte no solo en un compromiso ambiental, sino también en una estrategia de negocio inteligente que asegura la viabilidad a largo plazo de las operaciones de piscicultura, (Instituto del agua, 2009).

El agua debe tener ciertas características fisicoquímicas y biológicas acorde a la especie a cultivar, ya que va a influir sobre su crecimiento y supervivencia. A continuación, se presentan ejemplos de valores e intervalos óptimos para el cultivo de peces dulceacuícolas en aguas latinoamericanas. Adicionalmente, existen contaminantes como plaguicidas, metales pesados y bacterias patógenas que pueden comprometer la producción y/o afectar la calidad del producto final. Por ello, es importante considerar no exceder la normatividad aplicable. (Vidal et al., 2017).

Tabla 3. Valores e intervalos óptimos para el cultivo de peces dulceacuícolas en aguas latinoamericanas

Especie	Temperatura (°c)	Salinidad (mg/L)	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L O₂)	Alcalinidad (mg/L CaCO₃)	Dureza (mg/L CaCO₃)
Bagre (<i>Ictalurus punctatus</i>)	25-30	0.5-3	6-9	5-15	20-400	20-400
Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	23-30	<5	6.5-8.5	0,3-0,5	40	20-45

Especie	Temperatura (°c)	Salinidad (mg/L)	pH	Oxígeno Disuelto (mg/L O₂)	Alcalinidad (mg/L CaCO₃)	Dureza (mg/L CaCO₃)
Carpa roja ornato (<i>Carassius auratus</i>)	20-28	< 10	7-9	6	34-150	34-150
Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	25-30	0-33	7-8	5-5.7	20	20
Trucha (<i>Onchorhynchus mykiss</i>)						
Huevos	13	--	7- 7.5	300	---	---
Hasta 10 g	16	26	7-7	160	20-200	20-200
Hasta 1 k	16	26	7-7	6-8	20-200	20-200

Fuente: Hoffman, 1993; Holliman, 1999; Johnson, 1993; Jiménez Guzmán y otros, 1999; Molonia, 2001; Carnevia, 2008

Temperatura del agua: Este parámetro es importante ya que condiciona el metabolismo de los peces, por lo que la fuente de agua debería tener de manera natural y durante todo el año una temperatura dentro del rango óptimo para que el organismo se desarrolle adecuadamente, se debe considerar además, que este parámetro afecta directamente la solubilidad del oxígeno disuelto en el agua, lo que se debe de tomar en cuenta al momento de seleccionar la especie a cultivar en base a la disponibilidad de oxígeno y los requerimientos del organismo (Vidal et al., 2017). La Temperatura es uno de los factores fundamentales a considerar, generalmente debe oscilar entre 25 y 30°C, aunque esto puede variar dependiendo de la especie de pez en cuestión.

Compuestos nitrogenados (Nitritos y Nitratos): Es importante monitorizar los niveles de amonio, nitritos y nitratos en el agua, ya que estos pueden ser tóxicos para los peces. Los niveles de amonio no deben superar 1 mg/L, los nitritos 0.3 mg/L y los nitratos 50 mg/L (Instituto del agua s.f).

Transparencia: Es otro factor para considerar en la producción; donde las aguas verdes de poca transparencia son indicativos de buena productividad que se traduce en alimento natural disponible y la incorporación del oxígeno en el agua por medio de la fotosíntesis; la producción igual se puede estimular con el uso de abonos orgánicos (estiércol) e inorgánicos (abonos químicos).

No se debería confundir la producción del plancton (aguas muy verdes) con la turbidez. Dicho parámetro es un indicador de que las condiciones del agua no son las más adecuadas para la producción de peces, ya que al no permitir el paso de la luz solar está imposibilitando que se realice la fotosíntesis (Vidal et al, 2027).

pH: Es el parámetro indicador del grado de acidez y está relacionado con la alcalinidad y la dureza del agua. Su control es importante debido a que influye en la toxicidad del amonio y del sulfuro de hidrógeno. El incremento de pH favorece que la proporción de amonio no ionizado, NH_3 (forma tóxica) del estanque se incremente (parámetros claves a controlar en acuicultura, s,f).

La escala de pH oscila entre 0 y 14, los valores localizados bajo 7 indican que acidez, si el pH es igual a 7 indica neutralidad y por encima de 7 indica basicidad. Los valores considerados seguros para los organismos acuáticos oscilan entre 6 y 9. El agua debe tener un pH en un rango de 6.5 a 9. Este rango garantiza la sobrevivencia y crecimiento de los peces, ya que un pH por debajo o por encima de estos valores puede causar estrés o hasta la muerte de los peces.

Alcalinidad total: Es importante porque junto con el dióxido de carbono, son la principal fuente de carbono utilizado en la fotosíntesis. La alcalinidad puede ser modificada agregando cal al estanque, pero debe hacerse con precaución porque puede interferir el equilibrio del sistema

carbonato bicarbonato y disminuyendo la concentración de dióxido de carbono disponible, lo que resulta en una elevación del pH.

Dureza total: La dureza del agua es producida principalmente por las sales disueltas de calcio y magnesio, y en menor proporción por sales de hierro, aluminio y otros metales. Su concentración total es medida en mg/l CaCO_3 , indica el valor de la dureza total del agua. Al igual que la alcalinidad total, se puede controlar temporalmente agregando cal al estanque. Generalmente, se recomienda una dureza de 100 a 250 mg/L CaCO_3 , pero depende de la especie en cultivo (Todo agua, 2024)

Conductividad eléctrica Es la medida de la capacidad que tiene una solución de transmitir corriente eléctrica; las unidades de expresión son siemens/cm o S/cm. Esta medida puede dar un valor presuntivo de la cantidad de iones inorgánicos presentes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Mn^{2+}) entre otros) lo que implica que este método puede determinar de manera presuntiva la cantidad de iones como el calcio y magnesio que son característicos de dureza en aguas, sin embargo, no pueden ser diferenciados. La conductividad eléctrica es útil porque con ella se puede establecer el grado de mineralización de una solución, esto quiere decir que puede ser determinada la cantidad de iones disponibles en cultivos acuícolas que son de vital importancia para la fisiología de animal (Orduz & Erazo, 2009).

La conductividad aumenta con la temperatura y la cantidad de iones presentes, los altos valores de conductividad (por encima de 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$) pueden indicar alta descomposición de la materia orgánica, en las aguas oligotróficas la conductividad es menor. La medición se realiza con un electrodo de conductividad, el cual, registra el valor en $\mu\text{S}/\text{cm}$, con su respectiva corrección por temperatura (Borges, 2015).

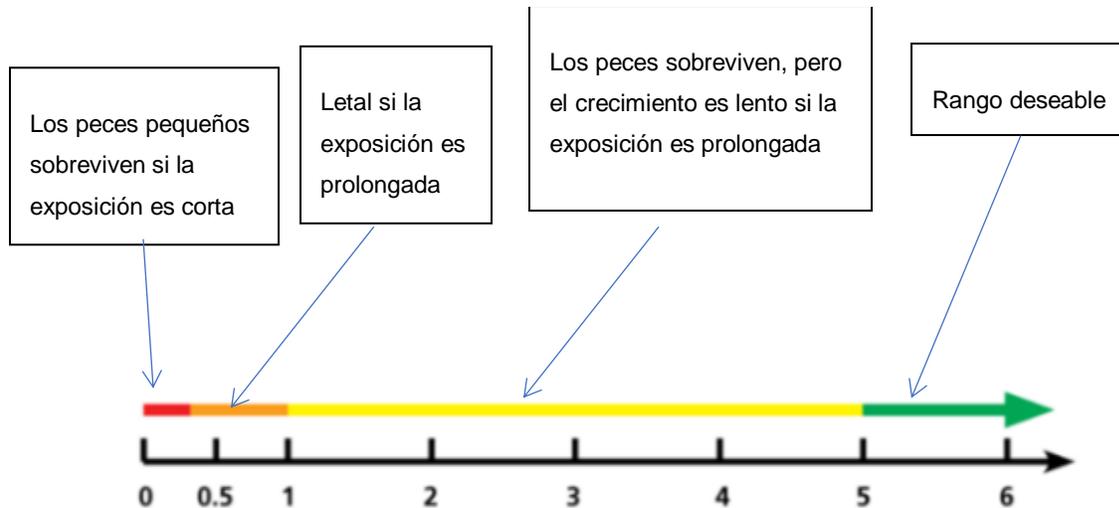
Salinidad: La salinidad es el contenido de sal disuelta en un cuerpo de agua, se expresa en gramos de sal por kilogramo de agua o en partes por mil (Quimica.es, s.f).

Oxígeno Disuelto: Este gas es requerido por los peces para su metabolismo. Su deficiencia y fluctuaciones marcadas pueden provocar mortalidad o susceptibilidad a enfermedades, así como

una baja eficiencia en crecimiento y conversión alimenticia lo cual resulta en mayor tiempo de crianza y costos de producción. Por supuesto este nivel depende mucho de la especie a cultivar.

El agua debe poseer una concentración adecuada de oxígeno disuelto, esencial para la respiración de los peces. Es recomendable mantener niveles de oxígeno disuelto mayores a 5 mg/L O₂.

Figura 5. Oxígeno disuelto en mg/L O₂C



Fuente: Castro (2021)

Características indirectas para determinar problemas de anoxia:

- Peces en la superficie boqueando o del lado de la entrada de agua
- Transparencia del estanque muy baja (< 35 cm, medidos desde la superficie)
- Elevada presencia de algas (agua verde), lo que provoca altas tasas de consumo de oxígeno por la noche o en días nublados
- Desprendimiento de burbujas con olor fétido proveniente del fondo del estanque

La calidad del agua debe ser monitoreada y ajustada regularmente para garantizar la salud y el crecimiento óptimo de los peces. Un manejo apropiado del agua es la clave para el éxito en la piscicultura.

5.1.4 Estado actual del sector piscícola

Colombia atraviesa una emergencia sanitaria por “*Streptococcus Agalactiae* ST7 serotipo Ia” los primeros registros de la bacteria causante de la actual emergencia sanitaria en el país, se presentaron en la represa de Betania, ubicada en Huila, posteriormente hubo nuevos casos en otros importantes departamentos productores como Atlántico, Magdalena y Tolima razón por la cual El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en su función de diseñar y ejecutar estrategias para prevenir, controlar y reducir riesgos sanitarios, biológicos y químicos para las especies animales y vegetales, declaró el estado de emergencia sanitaria en el territorio nacional.

La exministra de Agricultura y Desarrollo Rural, Jhenifer Mojica, “esta decisión busca reducir el riesgo existente, así, como controlar y disminuir la mortalidad de peces para proteger la piscicultura nacional y garantizar la seguridad alimentaria del país”.

También el exdirector de la Federación Colombiana de Acuicultores (FEDEACUA), César Pinzón, concuerda en que lo primordial es propender por mejorar la bioseguridad. “La piscicultura colombiana tiene que trabajar en lo sanitario”, afirmó, “No podemos continuar pensando que el tamaño de nuestra producción determina la bioseguridad y el estado sanitario de nuestras empresas, pues las bacterias, los virus o cualquier otra cosa que afecte la salud de los animales en cultivo no distingue si se trata de un pequeño o de un gran productor. Tenemos la experiencia de anteriores problemas sanitarios en el cultivo de peces y camarones en Colombia, una razón más para prestarle atención a este asunto”. (FEDEACUA, s. f.)

De igual manera el director general de la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), Hernán David Rubio, reiteró el compromiso por parte de la entidad para acompañar a los piscicultores en esta emergencia sanitaria, a través de la formalización a los pequeños productores y de subsistencia, siendo el programa de fomento una estrategia que permite trabajar por la seguridad alimentaria de ellos y sus familias.

La especialista en acuicultura y consultor senior de SIGHTLINE SYSTEMS), Laura Toro, considera que es difícil determinar con certeza que esta situación se pudo haber prevenido, pero

lo que sí aseguró es que “implementar buenas prácticas acuícolas, tener una buena trazabilidad del proceso, implementación de semilla de buena calidad (genética y procedencia), es decir, todo lo que abarca la bioseguridad, además del control en las densidades de siembra, ayudan a mitigar de una mejor manera este tipo de situaciones, ya que como mencioné antes, los agentes patógenos siempre estarán presentes en los cuerpos de agua, esperando algún cambio en las condiciones para afectar el cultivo”. Toro (2023)

5.2 Marco Geográfico o Territorial

5.2.1 Antioquia

Antioquia es uno de los treinta y dos departamentos que forman la República de Colombia (Ver Figura 6), está ubicado al noroccidente colombiano, en las regiones Andina y Caribe, El departamento de Antioquia presenta una gran diversidad geográfica significativa ya que conjuga casi todos los elementos de la geografía colombiana: Mar, llanuras, montañas, altiplanos, páramos, ríos, ciénagas y bosques (Colaboradores Wikipedia s.f).

Figura 6. Ubicación departamento de Antioquia en Colombia



Fuente: IDEAM

La gobernación de Antioquia le ha apostado al desarrollo piscícola en el departamento, por medio de la disposición y ejecución de presupuesto para la implantación de procesos productivos piscícolas, centros de educación superior, como la Universidad de Antioquia, el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, la Universidad Católica del Oriente, la Corporación Universitaria Lasallista, se han beneficiado con recursos para infraestructura (laboratorios) de investigación, producción y comercialización de productos acuícolas y pesqueros.

Adicionalmente se han realizado seguimiento y acompañamiento a pequeños y medianos productores de la cadena productiva en el departamento, también se han dispuesto regalías para el establecimiento de unidades productivas en los municipios de Mutatá, san Rafael, Sonsón, san Carlos, Guarne, La unión, Alejandría, Guatapé, Concepción, Puerto triunfo, Maceo, Caracolí,

Yondó, Nechí, Tarazá, Zaragoza, Caucasia, Cáceres, El bagre, Belmira, Santa rosa de osos, Cisneros, Amalfi, Sopetrán, Jardín y Urrao.

5.2.2 San Roque

El municipio de San Roque (Ver figura 6) se encuentra localizado en la cordillera central de los Andes, en el nordeste antioqueño, encercado geográficamente por los ríos Nus y Nare. Limita por el norte con el municipio de Yolombó, por el este con los municipios de Maceo y Caracolí, por el sur con los municipios de San Carlos, San Rafael y Alejandría y por el oeste con el Municipio de Santo Domingo

El municipio está dividido administrativamente en tres corregimientos dentro de los cuales se ubica el corregimiento se encuentra San José del Nus, sitio de establecimiento de la estación piscícola perteneciente a la Universidad de Antioquia y lugar elegido para realizar el análisis de calidad del agua del proceso productivo piscícola para este trabajo.

Figura 7: Ubicación corregimiento san José del Nus



Fuente: Gobernación de Antioquia

La microcuenca de la quebrada La Vega se localiza en la porción media de la cuenca del río Nus que a su vez tributa las aguas al río Magdalena. La cuenca del río Nus tiene una extensión

superficial de 828 km², y está ubicada al oriente del corregimiento de San José del Nus en el departamento de Antioquia, cubre territorio de los municipios de Santo Domingo, Cisneros, San Roque, Yolombó, Caracolí, Maceo y es un contribuyente importante de la cuenca del río Nare, dentro de la cual ocupa el sector más septentrional. El río Nus confluye con el río Nare en el sitio Islitas, en proximidad al río Magdalena (GAIA, 2004). Este sistema es una unidad hidrológica de pequeña escala con un rango altitudinal entre los 790 y 1.250 msnm y un área vertiente de 6,7 km² Los tributarios principales son las quebradas Piedras y Guaico que nacen a 1.000 y 1.250 msnm, respectivamente (Hernández-Atilano et al, 2005).

Figura 8. Cuenca de la quebrada La Vega y los elementos básicos de la red de drenaje



Fuente: (Grupo de investigación en gestión y modelación ambiental - GAIA, 2004)

5.3 Marco Institucional

9.8 Estación Piscícola San José del Nus

La Estación Piscícola San José del Nus es un centro de práctica, investigación y producción de la universidad de Antioquía, adscrito a la dirección de regionalización. En 1997 inició el funcionamiento en el corregimiento de San José del Nus, del municipio de San Roque, Nordeste antioqueño. Brindando modestas instalaciones para generar procesos de investigación, docencia y extensión, enmarcándose en la misión universitaria y en la producción experimental de especies nativas y foráneas con fines comerciales.

Actualmente produce y vende larvas y alevinos de tilapia roja y nilótica, a través de procesos de producción que se llevan a cabo en un laboratorio de incubación artificial; La Tilapia o Mojarra roja (*Oreochromis spp*) es un híbrido resultante del cruce de varias especies del género *Oreochromis* originarias de África e Israel. es un pez teleósteo del orden perciforme, perteneciente a la familia Cichlidae, que presenta características zootécnicas como gran resistencia física, crecimiento acelerado, alta productividad, adaptación al cautiverio, aceptación de una amplia gama de alimentos y carne de excelente calidad, que permiten su cultivo en diversos sistemas de producción donde soporta altas densidades, resiste condiciones ambientales adversas y tolera bajas concentraciones de oxígeno, además de que es capaz de utilizar la productividad primaria de los estanques y puede ser manipulado genéticamente.

Las acciones desempeñadas dentro de la estación piscícola dan cumplimiento a los requisitos de la norma NTC 5700, la cual vela por las prácticas de calidad, bienestar de los empleados y la conservación del medio ambiente, cuenta con certificación de calidad en buenas prácticas por el ICONTEC. Y granja biosegura ICA (Universidad de Antioquía s,f).

5.4 Estructura organizativa

Figura 9. Estructura organizativa de la estación piscícola san José del Nus



Fuente: Estación Piscícola San José del Nus

5.5 Visión

La Estación Piscícola San José del Nus de la universidad de Antioquia se consolidará en el 2030 como un centro generador y difusor del conocimiento en la rama de la piscicultura y de sus productos. Concibiéndose a futuro como una unidad integrante del centro de desarrollo humano y tecnológico del departamento de Antioquia que facilite la realización de proyectos de investigación y generación de paquetes tecnológicos que propicien el desarrollo del subsector piscícola para beneficio de las comunidades rurales, enmarcados siempre en el desarrollo de las actividades misionales de la Universidad de Antioquia, Docencia, Investigación y Extensión.

5.6 Misión

Fortalecer la presencia de la universidad de Antioquia en la región del nordeste y magdalena medio a través de la piscicultura mediante la investigación, la docencia, la extensión y la producción de especies ícticas de aguas cálidas. Se promoverá la capacitación de campesinos y técnicos de la región para que se convierta la actividad piscícola como factor de desarrollo económico y social, mejorando las condiciones nutricionales de la población y contribuyendo a un aumento de la calidad de vida de las comunidades rurales. Será un apoyo permanente a la formación de profesionales de los diferentes programas de la universidad de Antioquia.

5.7 Política de calidad e inocuidad

La Estación Piscícola San José del Nus de la Universidad de Antioquia está comprometida con el cumplimiento de la normatividad que rige la bioseguridad y la inocuidad del producto terminado para consumo humano, mediante la implementación de Buenas Prácticas de Producción Acuícola y la implementación de programas que aseguren el desarrollo de cultivos bioseguros tanto de los animales como de las personas que intervienen en el proceso y de esta forma entregar semilla de excelente calidad que garantice un adecuado inicio del ciclo productivo piscícola a nuestros clientes.

Nuestro sistema productivo se basa en la responsabilidad social, generando empleo a los habitantes de la zona que garantice mejor calidad de vida, cumpliendo con la debida normatividad laboral

También trabajamos bajo estrictas normas ambientales, cuidando el entorno, fauna, flora de la zona y velando por su subsistencia mediante la divulgación de aquellas especies que se encuentran en peligro de extinción para concientizar a los habitantes de la zona de su adecuada preservación

5.8 Marco legal

El marco legal de la producción piscícola en Colombia está constituido por una serie de Leyes, Decretos, resoluciones, sentencias, códigos y planes de manejo de recursos naturales que buscan regular y promover la actividad acuícola de manera sostenible, asegurando la conservación de los ecosistemas acuáticos y el desarrollo socioeconómico de las comunidades involucradas. A continuación, se presenta legal y normativo, seguido de una breve explicación de cada uno.

5.8.1 Jurídico

Tabla 4. Legislación aplicable

Ley, Decreto o Resolución	Entidad que Expide	Objeto del Marco Jurídico
Constitución Política de Colombia de 1991	Congreso de Colombia	Artículo 79: Consagra el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano y a participar en las decisiones que afectan el ambiente, con el correspondiente deber del Estado de proteger su diversidad e integridad, mediante la conservación de las áreas de especial importancia ecológica y el fomento de la educación.
Ley 165 de 1994	Congreso de Colombia	por medio de la cual se aprueba el “Convenio sobre la Diversidad Biológica”, hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992

Ley, Decreto o Resolución	Entidad que Expide	Objeto del Marco Jurídico
Ley 611 de 2000	Congreso de Colombia	Por la cual se dictan normas para el manejo sostenible de especies de Fauna Silvestre y Acuática
Ley 13 de 1990	Congreso de Colombia	por la cual se dicta el Estatuto General de Pesca
Ley 99 de 1993	Congreso de Colombia	por la cual se crea el Ministerio de Ambiente, organiza el Sistema Nacional Ambiental y define el ordenamiento ambiental territorial
Ley 101 de 1993	Congreso de Colombia	por medio de la cual se modifica la Ley 101 de 1993, se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal, acuícola, las Sociedades Agrarias de Transformación, SAT, y se dictan otras disposiciones
Resolución 0631 de 2015	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	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 y se dictan otras disposiciones
Resolución 6535	Instituto colombiano agropecuario	“Por la cual se declara el Estado de Emergencia Sanitaria en el territorio nacional por la presencia de <i>Streptococcus Agalactiae</i> ST7 serotipo Ia”
Decreto 2811 de 1974	Presidente de la república de Colombia	“Dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”
Decreto Único 1071 de 2015	Presidencia de la república de Colombia	por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural

Ley, Decreto o Resolución	Entidad que Expide	Objeto del Marco Jurídico
Decreto 1835 de 2021	Congreso de Colombia	"Por medio del cual se modifican, adicionan y derogan algunas disposiciones de la Parte 16 del Libro 2, del Decreto 1071 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural en lo relacionado con la administración, ordenación y fomento de la Pesca y la Acuicultura"
Decreto 1780 de 2015	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	Por el cual se adiciona el Decreto 1071 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural, en lo relacionado con la adopción de medidas para administrar, fomentar y controlar la actividad de la acuicultura"
Resolución 1352 de 2016	Autoridad nacional de acuicultura y pesca	"Por la cual se establece la clasificación de los acuicultores comerciales en Colombia de acuerdo con la actividad, el sistema y el volumen de producción"
Resolución 2287 de 2015	Autoridad nacional de acuicultura y pesca	Por la cual se declaran unas especies de peces como domesticadas para el desarrollo de la Acuicultura y se dictan otras disposiciones"
Resolución	Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca	Establece los estándares técnicos para las prácticas de acuicultura, incluyendo la calidad del agua, alimentación y manejo de enfermedades en los cultivos acuícolas.
Resolución 1193 de 2014	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	"Por la cual se racionalizan unos trámites, señalando los requisitos para el permiso de cultivo para el ejercicio de la acuicultura de recursos limitados"

Ley, Decreto o Resolución	Entidad que Expide	Objeto del Marco Jurídico
Resolución 601 de 2012	Autoridad nacional de acuicultura y pesca	“Por la cual se establecen los requisitos y procedimientos para el otorgamiento de los permisos y patentes relacionados con el ejercicio de la actividad pesquera y acuícola”
Resolución 1193 de 2014	Autoridad nacional de acuicultura y pesca -	por la cual se racionalizan unos trámites, señalando los requisitos para el permiso de cultivo para el ejercicio de la acuicultura de recursos limitados
Resolución 1924 de 2015	Autoridad nacional de acuicultura y pesca	Por la cual se autorizan las especies ícticas ornamentales aprovechables comercialmente, se establecen unas prohibiciones, se derogan las resoluciones N0. 3532 del 17 de diciembre de 2007 y No. 0740 del 4 de mayo de 2015 y se establecen otras disposiciones
Resolución 2287 de 2015	Autoridad nacional de acuicultura y pesca	Por la cual se declaran especies de peces domesticadas las especies trucha arco iris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>). Tilapia del Nilo, tilapia plateada o mojarra lora (<i>Oreochromis niloticus</i>) y el híbrido de tilapia roja (<i>Oreochromis sp</i>) y se establecen medidas de manejo para las mismas
Resolución 64 de 2016	Instituto colombiano agropecuario	Por la cual se establecen los requisitos para obtener el Registro Pecuario de los establecimientos de acuicultura, ante el ICA
Resolución 20186 de 2016	Instituto colombiano agropecuario	Por medio de la cual se establecen las condiciones sanitarias y de bioseguridad en la producción primaria de animales acuáticos, para obtener el certificado como Establecimiento de Acuicultura Biosegura

Ley, Decreto o Resolución	Entidad que Expide	Objeto del Marco Jurídico
Resolución 2879 de 2017	Autoridad nacional de acuicultura y pesca	por la cual se establecen los requisitos que deben cumplir los establecimientos dedicados a la acuicultura en el país para minimizar los riesgos de escape de especímenes de recursos pesqueros ícticos de especies exóticas, domesticadas y/o trasplantadas y de camarón marino a cuerpos de agua naturales o artificiales
Resolución 418 de 2019	Autoridad nacional de acuicultura y pesca	Por la cual se adoptan los criterios para definir los recursos pesqueros, y se definen algunas especies susceptibles de ser aprovechadas en el territorio nacional.
Resolución 1485 de 2022	Autoridad nacional de acuicultura y pesca	Por la cual se establecen los requisitos y procedimientos para el otorgamiento de permisos y autorizaciones para el ejercicio de la actividad pesquera y de la acuicultura, así como de sus prórrogas, modificaciones, aclaraciones y cancelaciones, archivo de expedientes y expedición de patentes de pesca, se adoptan otras disposiciones y se deroga la resolución número 2723 de 2021.

Fuente: Elaboración propia

5.8.2 Normativo y programático

Internacional

A nivel internacional organizaciones como la ONU han dispuesto una serie de manuales, códigos y planes que ayudan a que los países pueden tener un referente para implementar sus técnicas y/o procesos, A continuación se referencian algunos de estos.

Tabla 5. Normatividad Internacional

Tipo de Norma	Entidad que Expide	Objeto del Marco Jurídico
Manual de Buenas Prácticas Acuícolas 2017	Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria	"Conjunto de procedimientos, condiciones, recomendaciones, controles y demás actividades relacionadas entre sí; que se aplican en los establecimientos involucrados en la cadena productiva hasta el procesamiento primario, con el objeto de que los productos de origen acuícola y pesquero cumplan con las especificaciones de inocuidad, controlando los peligros asociados a agentes físicos, químicos o biológicos".
Plan de acción mundial para los recursos genéticos acuáticos para la alimentación y la agricultura- 2019	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación	Las cuatro esferas prioritarias del plan de acción mundial para los recursos genéticos acuáticos para la alimentación y la agricultura
código de conducta para la pesca responsable	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación	Este Código, un instrumento pionero, único y voluntario, es probablemente el instrumento de pesca global más citado, de mayor relevancia y más ampliamente difundido en el mundo

Fuente: Elaboración propia

Nacional

Para desarrollar el cuadro solicitado con información general sobre el marco legal de la producción piscícola en Colombia, se puede elaborar un esquema basado en información típica que se encontraría en el contexto colombiano. Este ejemplo se construirá con datos genéricos y representativos, considerando leyes, decretos, resoluciones y acuerdos relevantes para la regulación de la acuicultura en Colombia, con el objetivo de reflejar cómo se estructura la normativa para promover prácticas sostenibles y la conservación de ecosistemas acuáticos.

Tabla 6. Normatividad Nacional

Tipo de Norma	Entidad Que Expide	Objeto del Marco Jurídico
Reglamento para las certificaciones agropecuarias	Instituto Colombiano de Normas Técnicas	En este reglamento se incluyen los requisitos contractuales que suscriben la Organización e ICONTEC, y que rigen las Certificaciones Agropecuarias de ICONTEC. En este reglamento se incluyen los requisitos particulares, tanto para la Organización como para ICONTEC, que sean aplicables según el esquema de certificación.
Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	Plan Nacional para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura en Colombia AUNAP - FAO
Manual de Gestión del recurso hídrico	Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia	Manual de Producción y Consumo Sostenible Gestión del Recurso Hídrico

Tipo de Norma	Entidad Que Expide	Objeto del Marco Jurídico
Manual operativo Clasificación y Registro de Usuarios del	Ministerio de agricultura	Con el objetivo de registrar e identificar los productores que aprovechan el recurso de acuicultura
Guía de manejo ambiental para el sector de la piscicultura continental en Colombia, 2017	Ministerio de agricultura - FEDEACUA	Manejo ambiental para el sector de la piscicultura continental

Fuente: Propia

Este marco legal refleja el compromiso con una producción piscícola responsable y sostenible, asegurando la conservación de sus ricos ecosistemas acuáticos y el bienestar de las comunidades que dependen de ellos. La comprensión y aplicación de estas normativas son esenciales para el desarrollo armónico de la acuicultura.

Local

A nivel departamental también podemos encontrar algunas normatividades que ayudan a regular el ejercicio de las actividades económicas y ambientales que se desarrollan en su jurisprudencia.

Tabla 7. Normatividad local

Tipo de Norma	Entidad Que Expide
Manual de gestión del recurso hídrico 2016	Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia
Plan de ordenamiento territorial	Departamento nacional de planeación

Fuente: Propia

6 Metodología

6.1 Enfoque de diseño

El enfoque cualitativo se adoptó para este estudio, con el objetivo de analizar las alteraciones físicas, químicas y biológicas del medio acuoso en los sistemas de producción piscícola en Colombia. Este enfoque se centró en entender los fenómenos desde una perspectiva más holística y contextual, permitiendo una comprensión más profunda de las dinámicas complejas en juego (Sampieri & Collado, 2021). La metodología cualitativa es idónea para estudiar sistemas vivos y sus interacciones, como es el caso de los ecosistemas acuáticos afectados por la acuicultura.

6.2 Tipo de estudio

La investigación documental se configuró como una metodología de investigación esencial dentro del enfoque cualitativo, cuya finalidad es analizar y sintetizar la información existente sobre un tema específico, en este caso, las alteraciones en la calidad del agua como consecuencia de la producción piscícola en Colombia. Este tipo de revisión permite una comprensión profunda y detallada de las investigaciones previas, teorías y hallazgos relevantes, facilitando la identificación de patrones, lagunas y tendencias en la literatura existente (Sampieri & Collado, 2021).

6.3 Tipo de investigación

La investigación analítica pretende la búsqueda o descubrimientos, causales, motivos o razones desconocidos a situaciones o problemáticas encontradas (Bavaresco 2006, p.27).

La presente investigación se cualifica como analítica puesto que desglosa los resultados sobre impactos de la producción piscícola sobre la calidad del agua y adicionalmente se analizan los resultados de los estudios de calidad de aguas superficiales y residuales no domésticas de La Estación Piscícola san José del Nus.

6.4 Plan de Búsqueda de información

La investigación inició con la selección de bases de datos relevantes y recopilación de información bibliográfica enfocada en estudios previos sobre impactos de la piscicultura en la calidad del agua. Los parámetros fisicoquímicos alterados por esta actividad serán identificados y documentados. Esta fase se apoya en el trabajo de autores como Pérez y Gómez (2019), quienes resaltan la importancia de una base de datos sólida en investigaciones medioambientales.

6.4.1 Definición de Palabras Clave y Términos de Búsqueda.

Se establecieron palabras clave como "piscicultura en Colombia", "calidad del agua", "impacto ambiental acuicultura", y "alteraciones fisicoquímicas agua". Estos términos ayudaron a filtrar y enfocar la búsqueda de información (Sampieri & Collado, 2021).

6.4.2 Selección de Bases de Datos y Fuentes de Información.

Para una investigación exhaustiva y actualizada sobre las alteraciones en la calidad del agua debido a la producción piscícola en Colombia, fue crucial identificar fuentes de información, diversas y confiables. Estas fuentes deben ofrecer tanto datos científicos como contextuales, abarcando desde estudios académicos hasta informes de políticas y prácticas en el terreno.

Fuentes primarias: Se realizaron tres visitas de campo, en la estación piscícola, san José del Nus, ubicada en el municipio de san roque Antioquia, La primera visita se realizó el 20 de febrero del año 2024, durante todo el día, se hizo un reconocimiento inicial de la estación piscícola, se identificaron los procesos de producción, las unidades productivas y las especies producidas, también se logró obtener los informes de análisis de aguas que la estación contrata con los laboratorios G-LIMA y LABGIGA, para los años 2019, 2021, 2022 y 2023.

Se revisaron y analizaron a profundidad los cuatro informes entregados por la estación piscícola san José de Nus, se realizó una tabla comparativa por año y parámetro, con el fin de identificar variaciones en los diferentes parámetros y años, se verifico el cumplimiento de los límites máximos permitidos según la resolución 631 de 2015 “por la cual se establecen los parámetros y

los valores límites permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”.

Durante la interpretación y análisis de los informes surgieron varias incógnitas frente al proceso de producción dentro de la estación, por lo que se hizo necesaria una segunda visita para resolver estos interrogantes. La segunda visita se realizó el 27 de mayo del mismo año, esta fue liderada por uno de los encargados de la parte técnica de la estación, durante este recorrido se identificó la conexión del flujo de agua, incluyendo, bocatoma, canales de aducción y puntos de vertimientos de aguas residuales, se identificaron los químicos de los cuales se hacen uso para prevención y control de parásitos y las técnicas de manejo de la producción.

Para culminar, el 21 de junio se realizó la última visita a la estación piscícola, con la finalidad de subsanar dudas e incógnitas surgidas frente a la interpretación completa de los informes entregados, sobre el análisis de la calidad de agua de la estación.

Bases de datos académicas: Se hizo uso de Los recursos digitales y de información disponibles en la biblioteca de la universidad de Antioquia:

Se accedieron a bases de datos académicas como JSTOR, Scopus, Web of Science, y Google Scholar, y Dialnet, Redalyc.org, Science Direct, Wiley Online Library, Scopus; Web of Science y Scopus, fuentes que ofrecen acceso a una amplia gama de artículos de revistas científicas revisadas por pares, tesis doctorales y conferencias en el campo de las ciencias ambientales y la piscicultura. Adicionalmente se revisaron páginas de organizaciones como la AUNAP, la FAO y el ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Además, se consultó literatura gris y reportes de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales relacionadas con la acuicultura y la gestión del agua.

6.5 Procedimiento de la Revisión Documental

La revisión documental se inició con una búsqueda exhaustiva de literatura relevante, incluyendo artículos científicos, informes de investigación, revistas, tesis, libros y documentos de políticas relacionados con la piscicultura y su impacto en la calidad del agua. Esta búsqueda se realiza en

bases de datos académicas y bibliotecas digitales reconocidas, siguiendo criterios de inclusión y exclusión claros para garantizar la relevancia y calidad de la información recopilada.

Se compararon datos sobre la calidad del agua antes y después de la implementación de prácticas piscícolas. Este análisis se apoyó en la recopilación y revisión crítica de información de diversas bases de datos y bibliografías, asegurando una comprensión integral de las dinámicas en juego. Además, se emplearon conocimientos teóricos y estudios previos para establecer correlaciones y evaluar las consecuencias de las actividades piscícolas sobre el medio acuático.

Posteriormente, se realizó una lectura crítica de los documentos seleccionados, donde se extrajeron los datos claves y se analizó la información en profundidad. Durante este proceso, fue crucial evaluar la validez, fiabilidad y aplicabilidad de los estudios revisados, como señalan García & Fernández (2020), para asegurar que las conclusiones basadas en esta revisión sean sólidas y confiables.

Una parte esencial de la revisión documental es la síntesis de la información. Esto implica no solo resumir los hallazgos de los estudios revisados, sino también integrarlos en un análisis coherente que aporte claridad y comprensión sobre el tema. López & Martínez (2022) destacan la importancia de esta síntesis para identificar cómo las diferentes investigaciones se conectan y contribuyen al conocimiento general del impacto de la producción piscícola en la calidad del agua.

6.5.1 Categorías de Interés

Las categorías incluyen:

1. **Alteraciones físicas:** Cambios en la temperatura, turbidez y otros parámetros físicos del agua.
2. **Alteraciones químicas:** Variaciones en pH, oxígeno disuelto, nutrientes, entre otros.
3. **Alteraciones biológicas:** Impacto en la biodiversidad acuática y proliferación de especies invasoras o patógenas.

6.6 Establecimiento de Criterios

6.6.1 Criterios de Inclusión

Para asegurar la relevancia y calidad de la información recopilada en esta investigación cualitativa sobre las alteraciones en la calidad del agua debido a la producción piscícola en Colombia, fue esencial definir criterios de búsqueda claros y precisos. Estos criterios guiarán la selección de fuentes y datos, alineándose con los estándares de rigor y profundidad requeridos en investigaciones cualitativas (Sampieri & Collado, 2021).

6.6.2 Implementación de los Criterios

La aplicación de estos criterios se realizó a través de un proceso sistemático y documentado, asegurando la transparencia y replicabilidad de la búsqueda. Este proceso incluyó la utilización de filtros en bases de datos y la revisión cuidadosa de los resúmenes y textos completos para determinar su adecuación a los criterios establecidos.

Búsqueda avanzada: Se utilizaron las palabras clave en bases de datos y filtros para año de publicación, idioma y tipo de documento.

Evaluación preliminar: Se revisó los resúmenes para determinar la pertinencia preliminar.

Revisión detallada: Se hizo una lectura completa de textos preseleccionados para confirmar su adecuación a los criterios.

Temporalidad: Se incluyeron estudios y publicaciones realizadas entre 2017 y 2023, para asegurar que la información sea actual y refleje las prácticas y condiciones más recientes en el ámbito de la piscicultura y la calidad del agua.

Tipo de publicación: Se priorizaron artículos de revistas científicas, libros, tesis, y reportes de organismos reconocidos, para garantizar la credibilidad y la validez académica de la información.

Relevancia temática: Las publicaciones seleccionadas se enfocaron específicamente en la piscicultura y su impacto en la calidad del agua, incluyendo estudios sobre alteraciones físicas, químicas y biológicas del medio acuoso.

Rigor metodológico: Se tuvo preferencia por estudios con metodologías robustas y bien documentadas.

Idioma: Se consideraron textos en español e inglés, facilitando el acceso a un amplio espectro de investigaciones tanto locales como internacionales.

Diversidad de perspectivas: Se buscó incluir una variedad de enfoques y perspectivas, para obtener una visión integral y multidimensional del impacto de la piscicultura en la calidad del agua (García & Fernández, 2020).

Autoría y publicación: Se consideró textos publicados en revistas científicas reconocidas o por autores con credenciales relevantes en el campo.

Diversidad de fuentes: Se incluyó una variedad de tipos de textos, como artículos académicos, informes de investigación, tesis, y libros.

6.7 Criterios de exclusión

No se consideraron los textos basándose en:

Irrelevancia temática: Textos que no abordaron específicamente el tema de estudio.

Falta de rigor metodológico: Estudios con metodologías poco claras o inadecuadas.

Calidad de la publicación: Textos de fuentes no académicas o no reconocidas.

Redundancia: Textos que no aportan información nueva o significativa.

6.7.1 Procedimientos de Exclusión

Filtrado inicial: Se tuvo en cuenta una exclusión basada en resúmenes y criterios básicos de los documentos encontrados, verificando la relevancia del contenido con la presente investigación.

Evaluación de contenido: Se descartaron textos tras la lectura, si estos no cumplían con los criterios establecidos.

Revisión continua: Se excluyeron textos luego de identificar redundancias durante la síntesis.

6.8 Estrategia de Síntesis de la Revisión

La síntesis implicó:

- **Integración de datos:** Se consolidó la información recopilada en una narrativa coherente.
- **Análisis temático:** Se identificaron temas comunes y tendencias en las diferentes categorías.
- **Comparación y contraste:** Se evaluaron similitudes y diferencias en los hallazgos de los distintos estudios.

6.9 Método

La estrategia de síntesis se basó en principios cualitativos de interpretación y reflexión crítica, siguiendo las pautas de Sampieri y Collado (2021), para generar una comprensión holística y detallada del impacto de la producción piscícola en la calidad del agua en Colombia.

Posteriormente, se procedió a la extracción de información pertinente, centrada en las alteraciones causadas por la excreción de peces y la disolución de alimentos concentrados. La metodología también incluyó el análisis de las consecuencias ambientales de estas alteraciones, basándose en la teoría y la relación de los datos obtenidos con la literatura existente (López &

Martínez, 2022). Este análisis permitió identificar patrones y tendencias en la alteración de la calidad del agua debido a la producción piscícola.

Finalmente, se buscó plantear alternativas y soluciones basadas en la información analizada, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la acuicultura en Colombia. Este enfoque metodológico, enraizado en principios cualitativos y apoyado por la literatura contemporánea, ofreció una comprensión integral de las interacciones entre la piscicultura y el medio acuático, subrayando la importancia de prácticas sostenibles en la gestión de recursos acuáticos (Torres & Ramírez, 2023).

6.10 Consideraciones éticas (con especial atención al reconocimiento de la propiedad intelectual)

El respeto por la propiedad intelectual es un componente fundamental en la investigación científica. Para garantizar la integridad ética en esta investigación sobre las alteraciones en la calidad del agua debido a la producción piscícola, se adoptarán las siguientes medidas:

1. **Citas y referencias:** Todo material de terceros utilizado en la investigación será debidamente citado y referenciado, siguiendo las normativas APA. Esto incluye datos, teorías, argumentos, gráficos y cualquier otro contenido que no sea de creación propia.
2. **Permiso para uso de datos:** En caso de utilizar datos o materiales protegidos por derechos de autor, se solicitarán los permisos correspondientes a los autores o poseedores de derechos, respetando las condiciones de uso establecidas.

7 Resultados

7.1 Prácticas de producción piscícola, incluyendo los métodos, alimentación, sustancias químicas y manejo del agua utilizados por los productores en Colombia

7.1.1 Fases del proceso de producción

El proceso de producción de los peces en cultivo atraviesa una serie de fases hasta alcanzar las proporciones ideales para salir al mercado, cada fase tiene consigo unas características que las hacen aptas para los cultivos.

Fase larval: Los huevos eclosionan y los peces, de tamaño milimétrico, aún no necesitan alimento, ya que todavía tienen reservas de energía nutricional en sus organismos. Debido a su tamaño y fragilidad, permanecen en incubadoras hasta que aprenden a nadar. La fase larval varía según la especie, y dura aproximadamente una semana, para los principales peces tropicales. Después de este período, los peces entran en la fase pos larval, en la que se cuentan y se distribuyen a viveros externos o estanques de alevinaje intensivo.

Alevinaje: Es la primera fase del desarrollo de los peces, que se produce cuando todavía son crías, esta etapa se lleva a cabo generalmente en criaderos especializados para aumentar la eficiencia. Al final, cuando alcanzan el tamaño y el peso ideal, se comercializan en otras piscifactorías o estructuras, donde se someterán a los siguientes pasos: recría y terminación, respectivamente.

El alevinaje es una etapa crítica, especialmente en lo que se refiere a la alimentación. En este momento de la vida, debido al pequeño tamaño, hay pocas opciones de organismos o alimentos que los peces puedan comer. Por el contrario, por la misma razón, terminan siendo presa fácil para los insectos acuáticos. Las especies de peces no deseadas también pueden invadir el vivero, como serpientes de agua, aves acuáticas, entre otras amenazas. Además, los alevines se enfrentan a la competencia alimentaria con renacuajos y otros peces pequeños.

De esta manera, los alevines deben alimentarse necesariamente de plancton, microorganismos que habitan en la columna de agua, y bentos, microorganismos que habitan en el sustrato. Excepto algunas especies como la tilapia que comen alimentos inertes (ración) desde el momento en que abren la boca, este tipo de alimentación se extiende hasta que los peces puedan alimentarse de otras fuentes.

El alevinaje puede realizarse de diferentes formas.

Opciones para el alevinaje

Se pueden usar algunos sistemas de alevinaje, como el semi intensivo, el intensivo y el extensivo.

Alevinaje semi intensivo: En el sistema más practicado, los viveros deben contar con dispositivos hidráulicos para el control total del flujo, lo que permitirá un manejo más optimizado y adecuado.

Este sistema requiere partes fundamentales como el secado total, la eliminación de lodo, la erradicación de depredadores, el encalado, la fertilización para estimular la producción de fitoplancton y la fertilización para estimular la producción de zooplancton. La calidad del agua debe regularse mediante análisis físicos y químicos.

Alevinaje intensivo: El alevinaje intensivo, por otro lado, es un sistema relativamente moderno que todavía se encuentra en fase de desarrollo en varias piscifactorías. Su principal objetivo es crear un sistema cerrado que impida la entrada de depredadores.

Este sistema debe realizarse en un laboratorio y, debido a su alto nivel de control, es más costoso debido a la constante necesidad de intervención humana.

La ventaja, sin embargo, es el logro de una alta tasa de supervivencia y, en consecuencia, una gran producción de alevines.

Alevinaje extensivo: Otro sistema en desarrollo es el extensivo. En este caso, los viveros familiares o comunitarios reciben las pos larvas (una fase anterior a los alevines). Aquí, el objetivo es controlar la población de depredadores antes y durante el proceso.

Dependiendo de las características de cada unidad, existe una dificultad para erradicar a los depredadores, ya que no hay forma de controlar el flujo.

Recría: las formas de hacer la transición de alevines a juveniles; cuando alcanzan el tamaño ideal para su comercialización en otras piscifactorías, las crías o alevines pasan por la segunda fase de cría, la recría. Al final de esta fase se convertirán en juveniles.

Este proceso puede ocurrir de manera independiente, es decir, en piscifactorías especializadas en criar alevines hasta que alcancen la fase juvenil, siendo posteriormente vendidos a otras piscifactorías que procederán a su engorde/terminación, o bien conjuntamente con esta tercera fase.

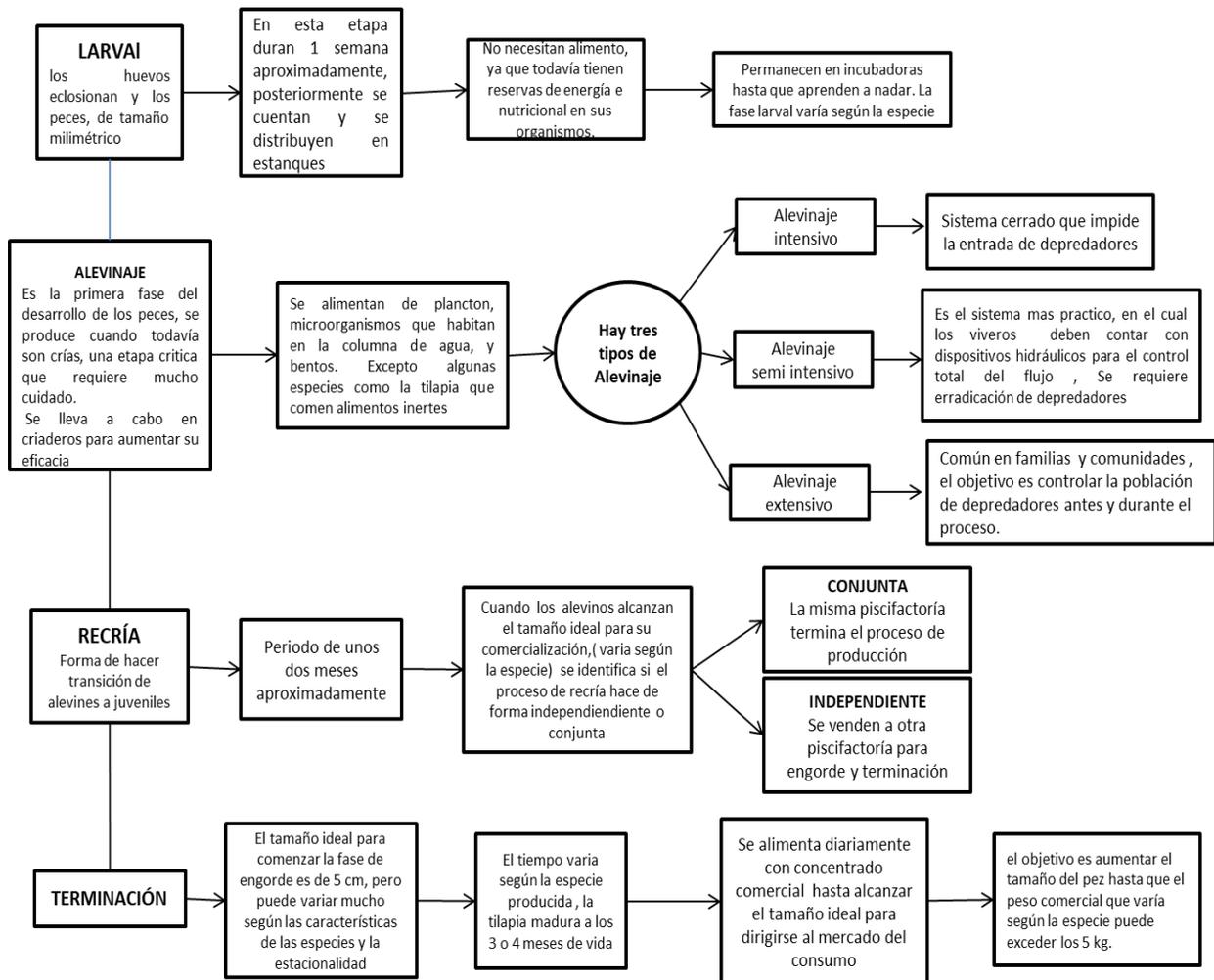
Por lo tanto, cuando la recría se realiza de forma independiente, los alevines se adquieren directamente de criaderos especializados en alevinaje. Y después se transfieren al criadero de recría, donde permanecerán hasta que alcancen la fase juvenil. Luego son transferidos nuevamente, esta vez, a los criaderos especializados en la terminación de los peces.

Terminación: Última fase antes de la comercialización, en esta etapa, el pescado alcanzará la edad adulta para luego ser dirigido al mercado de consumo.

En algunas granjas de peces, el tamaño ideal para comenzar la fase de engorde es de 5 cm, pero puede variar mucho según las características de las especies y la estacionalidad. Se cree que este tamaño les garantiza una mejor eficiencia para ingerir partículas más grandes, farináceos, pequeños insectos, entre otros. Además, también están mejor preparados para escapar de los depredadores. Es una fase en la cual el objetivo es aumentar el tamaño del pez hasta que el peso comercial que varía según la especie puede exceder los 5 kg.

Por lo tanto, esta etapa se caracteriza por la necesidad de grandes cantidades de alimentos. Es decir, existe una mayor necesidad de adaptar el tratamiento a través del suministro diario de alimentos y el monitoreo regular de la producción.

Figura 10. Etapas de la producción piscícola



Fuente: Elaboración propia

7.1.2 Tiempo de producción

Las etapas de la piscicultura son comunes a todas las especies. Sin embargo, cada una de ellas presentará particularidades a lo largo de todo el proceso, que deben ser conocidas por los piscicultores.

- La tilapia, por ejemplo, es un pez de agua dulce considerado uno de los mejores para la cría. Esta popularidad se debe, entre otros factores, a su rápida crianza, que suele variar de 4 a 11 meses, dependiendo de la ubicación, clima, temperatura, calidad del agua y de las demandas del mercado.
- La carpa, por otro lado, además de requerir un manejo más delicado, tiene un tiempo de crianza promedio más alto, de alrededor de 1 año.
- El bagre también tiene un tiempo de cría de aproximadamente 1 año. Su pico reproductivo ocurre dentro de los 3 años. La mayoría del bagre tiene un comportamiento depredador porque tiene hábitos alimentarios carnívoros. Además, tiene un apetito voraz que dificulta que esta especie rechace cualquier tipo de alimento que se le ofrezca.

7.1.3 Tipos de Producción

De acuerdo con Heredia B. (2018) la piscicultura puede clasificarse según el tipo y sistema de producción, el grado de manejo, la tecnología aplicada y de acuerdo con el número de especies que se encuentren involucrados en el cultivo; se emplea el término monocultivo cuando se cultiva una sola especie se denomina monocultivo y policultivo si se trata de dos o más especies.

7.1.4 Escogencia del terreno

Las prácticas piscícolas bajo las modalidades semi intensiva, intensiva y super intensiva requieren la utilización de estanques, generalmente de tierra, siguiendo para la escogencia del terreno criterios, como:

Topografía: Se refiere a la característica superficial de este; es decir, al relieve del terreno. La cantidad, forma, superficie, profundidad y el tipo de estanque depende de la topografía. Para que

se puedan construir uno o varios estanques en un terreno con declive, es preciso que se pueda llevar el agua a un nivel inferior al fondo de estos para poder vaciarlos.

Los terrenos planos o ligeramente inclinados, con pendientes naturales inferiores a 5% son recomendables para la construcción de los estanques. Donde una quebrada fluya se pueden construir estanques, levantando diques alrededor de dos o tres lados de la misma, llenándolos con agua desviada de la corriente. También pueden ser construidos en hondonadas o depresiones naturales, con pendientes superiores a 8%, cerrando cajones angostos con diques.

Suelo: Es conveniente para la construcción de estanques piscícolas que este sea impermeable, lo que no quiere decir que se requiera que tenga una buena calidad. Las características físicas y químicas del suelo deben ser consideradas para la construcción de los estanques, ya que las primeras intervienen en los aspectos de construcción y las últimas en lo relativo a la calidad del agua.

El terreno se caracteriza mediante la excavación de calicatas de 1,20 m de largo x 1,0 m de ancho, variando la profundidad según el tipo de substrato. En estas se determina el color, la textura, estructura y actividad biológica entre otras, en los diferentes horizontes encontrados. Se toma una muestra alterada y homogeneizada para el análisis mecánico (% de arena, limo y arcilla; coeficiente de elasticidad) y para el análisis químico (fosforo, potasio, calcio, pH y porcentaje de materia orgánica).

La permeabilidad es una propiedad del suelo para permitir el paso del agua y del aire, y se mide en función de la velocidad del flujo de agua durante un periodo determinado. Puede expresarse como tasa de permeabilidad en cm/h, mm/h, o como un coeficiente en cm/s, m/s. Esto depende de la textura del suelo; mientras más fina sea, más lento será el paso del agua y, por tanto, su permeabilidad será menor y viceversa.

7.1.5 Técnicas de producción

Piscicultura en estanques de tierra: La piscicultura en estanques es una de las formas más comunes de cría de peces. Consiste en la construcción de estanques artificiales en los que se

pueden controlar diversos factores como la temperatura, la calidad del agua y la alimentación. Este tipo de piscicultura es ideal para especies de peces que no requieren grandes espacios y pueden ser cultivados en alta densidad, como la tilapia, la carpa y el bagre.

La densidad de siembra de este modelo es de 10 a 15 peces por metro cuadrado, el peso de siembra oscila entre 5 a 10 g, en algunos casos puede ser menor en la medida en que la tasa de crecimiento sea muy acelerada, así mismo se recomienda mantener un recambio permanente de agua entre 10 a 50 litros por segundo. En países como Ecuador, Perú y Colombia los estanques tienden a ser de áreas superiores a 1000 o 2000 metros cuadrados, en Ecuador los estanques tienen dimensiones superiores a 5 hectáreas, con profundidades no mayores a 1 metro, de esta forma la productividad primaria se ve aumentada por la penetración de los rayos solares (ultravioleta).

Piscicultura en jaulas flotantes: Es un sistema de producción intensivo que permite criar el cultivo de peces en gran cantidad en un espacio limitado. Puede desarrollarse en cuerpos de agua tanto naturales (ríos, lagos, mares, estuarios) como artificiales (embalses, reservorios, estanques), siendo su localización uno de los más importantes factores a considerar, asegurándose disponer de una adecuada profundidad, circulación, transparencia y calidad de agua, entre muchos factores. Se tienen reportes en Colombia, Brasil, y Panamá donde se está trabajando hasta 400 peces por metro cúbico, esto quiere decir que, si el peso final es de 300 gramos, entonces la biomasa obtenida por metro cúbico es de 120 kilos (Vidal, 2017).

Existen diversos diseños y tamaños de jaulas, su elección dependerá de la especie a cultivar, el estado de desarrollo, las condiciones del sitio, nivel de tecnología disponible, la escala de producción, etc. Las jaulas pueden ser cuadradas, cilíndricas hexagonales o circulares, siendo las más utilizadas las cuadradas y las circulares (Rojas et al., 2008).

7.1.6 Método o sistema de producción

Piscicultura extensiva: Se realiza con fines de repoblación y/o aprovechamiento de cuerpos de agua, no construidos con este objetivo (embalses, lagunas y abrevaderos), bien sean naturales o artificiales, dejando que los peces subsistan del alimento natural que allí se produzcan; En este

sistema de cultivo no se proporciona alimento suplementario y la cosecha se practica en el momento que se detectan animales de talla comercial. Las densidades a las cuales se siembran los organismos son bajas y la intervención del hombre se limita a la siembra y al aprovechamiento de estos organismos.

Piscicultura semi intensiva: En este caso se usan estanques o reservorios construidos por el hombre para este fin en específico, Las técnicas de manejo se limitan a la siembra de los peces, abonamiento y preparación del estanque en forma incipiente y esporádica. En ocasiones, si se suministra algún tipo de alimento estará compuesto por desechos domésticos y residuos agrícolas. Cuando se suministra alimento concentrado es de bajo contenido proteico. Se emplean densidades un poco más altas que en el sistema anterior y se efectúa poco control sobre el cultivo.

Piscicultura intensiva: Se efectúa básicamente con fines comerciales y para ello se necesitan estanques técnicamente construidos con entradas y salidas de agua. Las cosechas y las siembras se llevan a cabo periódicamente, obedeciendo a una programación de la producción.

Se realiza un control permanente de la calidad del agua y se practican abonamientos frecuentes con estiércol de animales y/o fertilizantes químicos. Se suministra diariamente alimento concentrado con elevados niveles de proteína y se programa la densidad de siembra, la cual varía de acuerdo con la especie y el grado de explotación. Se aplica una mayor tecnología, cuya base está dada por los recambios de agua continuos y/o la aireación. En lagos, represas y embalses también se pueden llevar a cabo cultivos intensivos, mediante la utilización de jaulas flotantes.

Piscicultura súper intensiva: Se ha desarrollado en los últimos años como consecuencia de los avances tecnológicos, consiste en aprovechar al máximo la capacidad del agua y los estanques. La programación y la atención sobre el cultivo en total, utilizando el recambio de agua y aireación artificial, para obtener altas producciones.

En ese sistema pierde importancia la producción natural y, en consecuencia, se utilizan alimentos concentrados con alto contenido de proteínas (28 a 45%). El control permanente de los parámetros fisicoquímicos del agua es fundamental para la obtención de las producciones

esperadas, ya que se trabaja con elevadas densidades de siembra. Regularmente se realiza un control histopatológico riguroso. Como se señala anteriormente, la actividad piscícola puede integrarse fácilmente a los procesos productivos ordinarios de la finca, mejorando notablemente el uso de los factores de producción. En el siguiente esquema puede observarse su funcionamiento:

Este tipo de sistema permite la reducción de los costos de producción, incrementar la productividad de la tierra, de la mano de obra y, por ende, un aumento de la ganancia de los productores.

Tabla 8. Cantidad de peces que se pueden sembrar según el tipo de piscicultura y la variedad de especies

Tipo de Piscicultura	Monocultivo	Policultivo
Piscicultura Extensiva	500 – 800	1000 – 2000
Piscicultura Intensiva	1,000 – 1,500	2000 – 4000
Piscicultura Súper-Intensiva	20 – 50/m ²	50 – 75/m ²

Fuente: Guía de buenas prácticas s.f

7.1.7 Tecnologías para manejo del agua en procesos piscícolas

RAS: Sistema de recirculación de agua para cultivo e peces con máxima calidad de agua con filtros biológicos, retención de sólidos, extracción de residuos, oxigenación eficiente y mínimo recambio de agua para una mayor densidad de siembra que en producciones extensivas. Estos sistemas permiten triplicar la densidad de siembra y con un recambio 80% menor que en producciones convencionales.

Los diseños RAS, cuentan con varias tecnologías de proceso, los cuales trabajan en conjunto para garantizar una mínima pérdida de agua, el calor y de las poblaciones de peces; mientras que limpian y reciclan el agua de los tanques de peces constantemente.

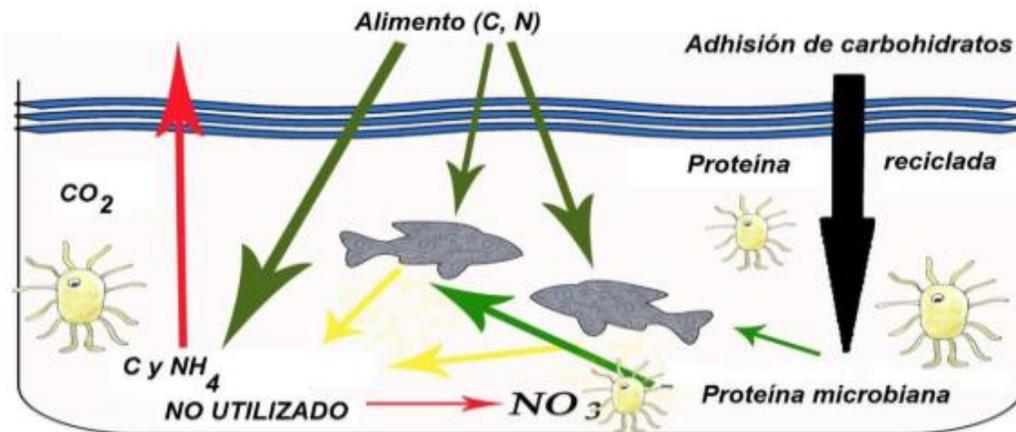
Biofloc: Es un agregado de microorganismos como bacterias heterotróficas, microalgas, nematodos y protozoarios que flotan en un medio acuoso que se compone a su vez de residuos orgánicos como las heces y residuos alimenticios como concentrado, el cual brinda un medio óptimo para el levante de peces filtradores siendo así un sistema eficiente y de bajo recambio.

También conocido como tecnología biofloc (BFT, por sus siglas en inglés) fue desarrollado bajo el mismo principio que tienen las plantas de tratamiento de aguas servidas convencionales, está basado en las relaciones de óxido-reducción del ciclo del nitrógeno que consiste en el desarrollo de flóculos microbianos, con adecuada relación carbono-nitrógeno (adición de melaza, harina de yuca) en el agua, poco o nulo recambio y continua oxigenación (Avinmelech, 2012) & (Gaxiola et al, 2013). Aquí el microbiota crece a partir de las excretas de los organismos cultivados, transformándolas en productos orgánicos de menor complejidad que pueden ser consumidos por otros organismos y reintegrados a la cadena alimenticia (Avnimelech, 2009). La BFT es una nueva perspectiva de producción en acuicultura súper-intensiva, que se desarrolla de manera dinámica en la actualidad, con la capacidad de enfrentar retos propios de esta actividad, como, por ejemplo, el aumento de la biomasa en menos volumen de agua y al menor costo ambiental (Avnimelech Y., 2009). El BFT actúa como una trampa para la retención de nutrientes en los estanques, lo que disminuye costos de mantenimiento ya que sirve como complemento alimenticio de los organismos comerciales en cultivo, mejorando las tasas de aprovechamiento de los alimentos (Azim, 2008).

Las bacterias que encontramos principalmente en los sistemas biofloc son: *Proteobacterium*, especies de *Bacillus* y *Actinobacterium*, y otras en menor proporción como *Roseobacter* sp. Y *Cytophaga* sp. Tales microorganismos son los encargados de conservar una buena calidad de agua en el estanque; estas bacterias fijan el nitrógeno en la proteína microbial. El carbono es el mayor constituyente de la célula bacteriana, por lo tanto, no llama la atención que requiera más carbono que cualquier otro nutriente, de acuerdo con la manera en que estas bacterias lo utilizan

las podemos clasificar como heterótrofas: fijadoras de amoníaco y bacterias nitrificantes quimioautótrofas. Por lo anterior se cataloga a los sistemas biofloc como una industria biotecnológica

Figura 11. Sistemas Biofloc



Fuente: docplayer.es

In pond raceway system - sistema de canalización en estanque (IPRS): Es un nuevo sistema de cultivo hiper intensivo de raceways dentro de estanques, desarrollado por la Universidad de Auburn, Alabama, USA.

El sistema de canalización en estanque fue creado con el fin de aumentar el rendimiento, con un sistema de jaulas dentro de un gran estanque que mantiene constantemente un movimiento controlado del agua para así mejorar la calidad de esta, teniendo como objetivo permitir aumentar la capacidad de carga producida por metro cúbico, como alternativa a los procesos de vertimientos de aguas residuales no domesticas provenientes de las zonas de cultivo, hacia los cuerpos de agua naturales.

El principio básico de este sistema radica en ubicar raceways hiper intensivos dentro de un estanque mucho más grande. Están abiertos por sus extremos de manera que el agua puede fluir del tanque grande a los mismos, tienen una malla plástica para no dejar que escapen los animales

de cultivo. De esta manera el tanque grande realiza una acción de “pulmón” del sistema degradando las sustancias tóxicas tal como el amonio y amoniaco, nitritos y nitratos generados en los raceways. Además, la gran superficie del estanque permite que el agua también se oxigene de manera natural tanto por fotosíntesis de microalgas como por intercambio con la atmósfera.

La renovación del agua de los canales es constante y muy rápida gracias al hidrodinamismo de todo el estanque generado por algunas semi divisiones del estanque y por aireadores de paleta que fuerzan el agua de todo el sistema a pasar por los canales. Dentro de los canales actúan unos sopladores que operan para crear un importante movimiento del agua y su oxigenación. Por último, al final de los raceways y antes de que el agua salga para el estanque existen unos sumideros que asistidos por una bomba expulsan regularmente a lo largo del día todos el alimento no ingerido y las excretas. Arana et al. En su estudio menciona que esta tecnología aumentó la producción en comparación con los resultados de los estanques tradicionales.

Consta de edificar un estanque grande y en una parte de este construir unas celdas o jaulas donde se van a confinar los peces, la jaula es básicamente edificada de forma alargada y estrecha, rectangular donde el suministro de agua corre constantemente.

El sistema está constituido por tres partes básicas, las bombas de aire, las celdas o jaulas y la zona de sedimentación de sólidos. El propósito de las bombas de aire es desplazar el agua por la zona de cultivo; el área de cultivo se encuentra en una estructura o jaula rectangular, mientras los motores o bombas captan aire atmosférico y lo hacen fluir a través de una serie de tuberías que se ponen en uno de los extremos de la jaula haciendo fluir el agua dentro de la celda hasta el extremo opuesto, en este se ubica la zona tranquila donde se encuentra una caja que recoge todos los sedimentos sólidos dejando que solo el agua circule de regreso a el estanque.

La zona de sedimentación es lo que hace que el sistema sea exitoso, los desechos producidos como heces, alimento no consumido y peces muertos van a ser llevados por la corriente a este compartimiento donde se van a precipitar y posteriormente se van a extraer por bombeo o aspiración permitiendo así que el estanque tenga mayor capacidad de oxígeno.

7.1.8 Alimentación

Según (García, 2017), Se debe tener en cuenta el tipo y cantidad de alimento por suministrar, de acuerdo con la edad y el peso de los peces. Adicionalmente de deben realizar muestreos los cuales sirven para conocer la salud, desarrollo y uniformidad de los peces. A través del muestreo, también se determina la cantidad de alimento concentrado por suministrarse.

En la piscicultura, se manejan tres tipos de alimentación: natural, complementario y concentrado.

Alimentación natural: son los microorganismos de tipo animal (zooplancton) y vegetal (fitoplancton) que se producen en el estanque luego de haberse efectuado la fertilización, adicional a estos se cuentan organismos como bacterias, protozoarios, larvas y adultos de insectos, gusanos y moluscos, que viven en la superficie o en el fondo del agua.

Alimentación complementaria: son algunos desperdicios de cocina, como harinas, frutas guayaba, col, quiebra-barriga hojas de bore, chachafruto, ahuyama, lombriz roja californiana, entre otros. Este tipo de alimento es importante en las explotaciones piscícolas para suplementar la alimentación natural y lograr mejores pesos, a nivel semi intensivo.

Alimentación a base de concentrados: Se deberá utilizar el alimento de mayor calidad disponible, tomando en cuenta los requerimientos y hábitos alimenticios de la especie en cultivo y en caso de ser necesario que flote en el agua por lo menos hasta que sea consumido, en general por no más de 20 minutos. El alimento también deberá estar poco pulverizado ya que, si no, no será consumido (Vidal et al, 2017).

Los ingredientes alternativos utilizados en dietas para tilapia incluyen proteínas y aceites vegetales, subproductos agroindustriales, plantas acuáticas, además de subproductos animales transformados y levaduras fermentadas”. (Gonzales et al, 2014). Los productos y subproductos vegetales, animales y agroindustriales: Una alternativa de la alimentación de la tilapia. Revista Bio Ciencias 2 (4) pág. 240 – 251. Hace referencia a alimentación sostenible basada en inclusión de productos y subproductos vegetales.

Es importante que en la piscicultura se ofrezcan dietas balanceadas a los peces para permitir una óptima productividad acorde a sus hábitos alimenticios donde se deben suministrar los nutrientes necesarios y fuentes alimenticias disponibles lo que va a garantizar que crezcan rápida y sanamente para obtener unos buenos resultados en la producción. (García, 2017).

Además, los alimentos deberán ser nutricionalmente completos, es decir, contener todos los nutrientes esenciales incluyendo proteínas, ácidos grasos, carbohidratos y vitaminas, los cuales son necesarios para el buen desarrollo de los animales en las diferentes fases del cultivo (Vidal et al, 2017). Se ejemplifican características nutritivas para diferentes especies como trucha y tilapia.

Tabla 9. Características nutritivas del alimento balanceado según la edad

Estadío	Talla (cm)	Tipo de alimento	Tipo de alimento	Fibra (%)	Met + Cist 1 (%)	Lisina (%)	Fósforo (%)	Calcio (%)	Grasa (%)	AG 2 n-3 (%)	AG n-6 (%)
Alevín	Hasta 6	Inicio 1	45	3	1,5	3	1	2	10	1	1
Alevín	6-8	Inicio 2	45	3	1,5	3	1	2	10	1	1
Juvenil	8-14	Crecimiento 1	45	3,5	1,4	3	1	2,5	10	1	1
Juvenil	14-18	Crecimiento 2	42	4	1,4	1,5	1	1,5	10	1	1
Juvenil	14-18	Reproducción	40	4,5	1,3	1,5	1	1,5	10	1	1
Adulto	18-27	Acabado	39	4,5	1,3	1,2	1	1,5	10	1	1

Fuente: Manual de Buenas prácticas de manejo para la piscicultura en agua dulce

Tabla 10. Niveles de nutrientes recomendados para las diferentes etapas

ETAPA	(%) Nutriente			
	Proteína	Lípidos	Carbohidratos	Fibra
La alimentación hasta 0.5 g	50	10	25	8
0.5-5 g	40-35	10	25	8
10-35 g	35-30	6-oct	25	8-10
> 35 g	25-30	6	25	8-10
Reproductores	30	8	25	8-10

Fuente: Manual de buenas prácticas de manejo para la piscicultura en agua dulce

Para calcular el alimento que deberá ser suministrado es necesario conocer la cantidad de biomasa en el estanque. Esto será el resultado de multiplicar el número de peces y su peso promedio

Tabla 11. Cantidad de alimento por suministrar según el peso promedio de los peces

Peso en gramos	% de alimento
1-14	10
15-20	6
21-34	5
25-44	4
45-54	3
55-229	2.5
230-330	2
331-380	1.9
381-432	1.8
533-516	1.6

Fuente: FAO

El peso promedio deberá ser monitoreado constantemente para ajustar las cantidades de alimento, lo que se conoce como biometría. Cada 15 días es un tiempo razonable para llevar a cabo una biometría.

Con una atarraya se realizan entre 15 y 20 lances en varios puntos representativos del estanque, se pesan los peces y el número de peces capturados por lance se promedia y se divide entre el área de la atarraya, obteniéndose un número de peces por área que luego se extrapola al área del estanque.

El alimento debería ser esparcido lo más ampliamente posible en la superficie del estanque de modo que todos los organismos tengan fácil acceso a éste. Si se concentra solamente en algunas áreas, muy posiblemente algunos peces se alimentarán y otros no. (Organización del sector pesquero y acuícola del istmo centroamericano (OSPESCA, 2017).

7.1.9 Sustancias químicas

Los acuicultores emplean diferentes productos químicos y antibióticos para mitigar y combatir las enfermedades y plagas que afectan a sus cultivos. Los efectos de estas sustancias en el medioambiente han sido pobremente estudiados, mientras que las cantidades y frecuencias de uso no suelen ser reportadas (Weber, M. 2003).

7.1.10 Uso de Medicamentos Veterinarios, Productos Químicos y Biológicos

Un gran número de químicos son usados en la acuicultura, pero solo unos cuantos tienen efectos beneficiosos. Además de los riesgos de contaminación química en los productos acuícolas que pueden derivarse por una selección inadecuada del sitio o por el uso de agua de mala calidad, también existe el riesgo de contaminación de los peces debido al uso inadecuado de medicamentos veterinarios o sustancias químicas. (Vidal et al, 2017). Es por esto que es importante tener en cuenta que los sistemas de producción de peces deberán diseñarse y gestionarse para asegurar que la exposición a medicamentos veterinarios de los animales destinados a la producción de alimentos, no representan riesgo para la salud humanos.

Para regular el uso de antibióticos La amenaza que representa la resistencia a los antibióticos ha llevado a generar una alerta internacional creciente, que advierte sobre su uso indiscriminado. En

este contexto, compromisos internacionales vigentes son el desarrollo y adopción del Plan de Acción Mundial de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre Resistencia a los antimicrobianos, la Declaración de la Reunión de Alto Nivel de las Naciones Unidas sobre Antimicrobianos Resistencia, compromisos asumidos en las reuniones del G7 y G20, y acciones adicionales de la OMS, la Alimentación y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO), la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)

Al menos 31 esteroides entre naturales y sintéticos vienen siendo usados en la reversión sexual de los peces de importancia económica. Algunas de las hormonas reportadas por Pandian and Sheela (1995) con base en una revisión de literatura son las siguientes:

Andrógenos: 17α -metiltestosterona es la hormona más usada a nivel mundial. Esta ha sido probada en más de 25 especies. (Peña).

Estrógenos: estradiol- 17β y etinilestradiol son las hormonas más preferidas y usadas para el tratamiento en la feminización de más de 15 especies y familias de peces. (Pandian, 1995; Hanselman et al., 2003).

En el caso de medicamentos veterinarios, se debe evitar su uso constante (como profiláctico) ya que puede causar problemas en la salud humana, induciendo resistencia en las bacterias que se encuentran tratando de combatir, además de que la liberación de estos productos en el ambiente que puede afectar negativamente a otros organismos acuáticos. Es por esto que se debe recalcar que los antimicrobianos solo se deben utilizar como tratamientos curativos cuando se conforme una en fermentación bacteriana y no deben ser usados como preventivos. El uso cuidadoso de los químicos permitirá disminuir costos y prevenir efectos nocivos (peligrosos) secundarios. (Vidal et al, 2017).

El mal uso de antibióticos en la producción de alimentos y en la población, ha levantado una alarma global. En este contexto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) desarrolló el Plan de Acción Mundial sobre Resistencia a los antimicrobianos. La Unión Europea publicó el Reglamento (UE) 2019/6 sobre medicamentos veterinarios. El fin es regular los medicamentos

de uso veterinario, como los antibióticos, tras el diagnóstico de un profesional veterinario para el tratamiento de una enfermedad infecciosa. Respecto al uso de antibióticos, se señala que su uso lo establece la autorización comercial del producto y con fines metafiláticos (aplicación a toda parvada o manada) cuando el riesgo de propagación de una infección o de una enfermedad infecciosa en el grupo de animales, elevado y no se disponga de alternativas adecuadas.

La resistencia a los antibióticos se presenta cuando las bacterias se adaptan y crecen en presencia de antibióticos. La aparición de la resistencia va ligada a la frecuencia de uso de los antibióticos. Dado que muchos antibióticos pertenecen a la misma clase de medicamentos, la resistencia a un agente antibiótico concreto puede llevar a la resistencia a toda una clase conexas. Además, la resistencia que se manifiesta en un organismo o ubicación puede propagarse de forma rápida e impredecible (OMS). La pérdida de agentes antimicrobianos eficaces para tratar animales enfermos perjudica a la producción de alimentos y los medios de subsistencia de los sectores económicos.

Por su parte, Noruega ha creado la Estrategia nacional contra la resistencia a los antibióticos 2015-2020. Para la producción de alimentos animales terrestres y animales de compañía el objetivo es del 10% y reducción del 30% en el uso, respectivamente, para 2020, con el 2013 como año de referencia. No obstante, los acuicultores de salmón destacan que han reducido aún más el uso de antibióticos, tratando solo el 1% de la producción total. Desde los bajos usos el 2018, se informó una reducción adicional del 77 % en 2019. Los Estados Unidos de Norteamérica (EE. UU) han desarrollado e implementado la Estrategia Nacional para combatir las bacterias resistentes a los antibióticos del 2014. Conjuntamente, con el Plan de Acción Nacional para combatir las bacterias resistentes a los antibióticos del 2015. Éste último recientemente actualizado, con nuevas metas y objetivos claramente desarrollados en el Plan de Acción 2020-2025. Asimismo, los Centros para el control y prevención de enfermedades tienen la función de llevar a cabo estos objetivos mediante la Iniciativa de Soluciones de Resistencia a los Antibióticos. Con esto, los insumos veterinarios utilizados legalmente por la acuicultura en EE. UU. Deben ser aprobados por el Centro para Medicina Veterinaria de la FDA (Administración de medicamentos y alimentos). (Vivanco E, 2021).

En Colombia se encuentran prohibidas las siguientes sustancias

Tabla 12. Sustancias prohibidas en Colombia

SUSTANCIA	RESOLUCIÓN ICA DE PROHIBICIÓN
Cloranfenicol	Resolución ICA 1326/1981
Plaguicidas organoclorados	Resoluciones 366/87 y 531, 540, 723, 724 y 874 de 1988 del ICA.
Furazolidona, Nitrofurazona y Furaltadona	Resolución ICA 1082/1995
Violeta de Genciana en los animales (uso oral)	Resolución ICA 961/2003
Dimetridazol	Resolución ICA 991/2004
Olaquinox	Resolución ICA 969/2010
Dietilestilbestrol (DES)	Resolución ICA 2638/2010
Polimixina B (Colistina)	Resolución ICA 22747/2018
Clembuterol	Se restringe al manejo de distocias en rumiantes y equinos y como coadyuvante en el tratamiento de enfermedades respiratorias en equinos.

Fuente: Dirección Técnica Inocuidad e Insumos Veterinarios. ICA

7.1.11 Manejo del agua utilizado por productores en Colombia

Reutilización del agua: Colombia es un país conocido por su gran riqueza hídrica, no obstante, el uso del agua está restringido en algunas regiones del debido a las condiciones de escases que en dichas regiones se pueden ver reflejadas, por lo que crece la necesidad de aprovechar y reutilizar el agua lluvia.

1. (Torres I, 2017) Menciona que en su proceso de producción piscícola hace uso solo de las aguas lluvias, al no contar con agua suficiente para realizar recambios es necesario llevar un tratamiento y cuidado diario del reservorio con el fin de que las medidas de amonio y la presencia de sedimentos sea menor, y los niveles la pH se mantengan entre 7 y 7.5 Cuando se termina un ciclo de producción se realiza un traslado del 50% las aguas hacia otro estanque y se complementa el otro 50% con agua del reservorio de aguas lluvias; el agua del reservorio es tratada mediante un filtro a base de gravilla y carbón activado que permite la purificación del agua.

Adicionalmente se hace uso de bacterias y prebióticos que ayudan a biodegradar los fondos, se hace suministro de pondtoss (premezclas de bacterias de diferentes usos, las cuales sirven para degradar desechos orgánicamente sanos para el cultivo de camarones o peces, (PRILABSA, 2024). Se compone de cepas de bacterias liofilizadas, las cuales son microorganismos encargados de digerir altas concentraciones de materia orgánica de una manera segura y natural, reduciendo el amonio a través de procesos de oxidación natural). Este suministro es llevado a cabo con la intención de minimizar la acumulación de lodos en los estanques.

Por otra parte, se realiza aireación y oxigenación del agua por medio de una moto bomba que genera movimiento del líquido, evitando el recambio de agua al final de cada etapa productiva, permitiendo así la minimización del uso de alimentosa concentrados, debido a que al no haber recambio de agua el zooplancton y el fitoplancton permanecen como alimentación para los peces. (La finca de hoy, 2017).

2. En el municipio de Aipe Tolima se implementa un sistema de producción semi intensivo de tilapia mediante reutilización del agua proveniente de la producción piscícola en riego de cultivos de arroz y pasto destinado a la ganadería, la rotación del agua evita la presencia de patógenos y promueve el rendimiento de las producciones además del uso de aireadores mecánicos.

Biofloculación del Agua: En la granja el nogal, se desempeña la producción super intensiva de alevinos de tilapia roja, ubicada en el Tolima, se lleva a cabo la producción en geo membranas usando la tecnología biofloc, (Medina A, 2019) menciona que ésta es una tecnología que involucra microorganismos en la producción acuícola, también llamada flóculos vivos, son partículas que se encuentran en suspensión en la columna de agua, conformadas por alimentos no consumido, por hongos, levaduras virus, por bacterias de diferentes tipos y principalmente por zooplancton y fitoplancton; es decir plantas y animales microscópicos contribuyendo al mantenimiento del equilibrio fisicoquímico del agua.

Los microorganismos que conforman el biofloc se encargan de acelerar los procesos que se llevan a cabo en el cuerpo de agua, realizando el ciclo del nitrógeno, el ciclo del fosforo y del potasio principalmente, convirtiendo todas las sustancias nitrogenadas en una forma oxido reducida que es menos toxica y posteriormente oxidar los nitritos a menos toxicidad llamada nitratos, por último, la turbulencia del agua saca los nitratos del agua en forma de gas.

Recirculación Del Agua (RAS): El servicio nacional de aprendizaje SENA ha implementado el modelo de recirculación de agua en producción piscícola en las técnicas de aprendizaje de santa marta, para la implementación de este proceso se requiere de equipos que garanticen la rotación constante del agua destinada para la producción de los peces y su purificación sin descuidar la temperatura y oxigenación. La función de los sistemas recirculación es remover los residuos físicos y tóxicos que los peces generan dentro del estanque durante su proceso digestivo.

Las granjas con tecnología RAS reciclan la mayor parte de su agua, consumen mucho menos agua que otros tipos de sistemas de cultivo, por lo cual son especialmente adecuados para áreas con reservas de agua limitadas. Para la cría de peces se necesita una cantidad de agua adecuada y

como regla general, el volumen mínimo es de uno a cinco galones por cada libra de pez y un flujo mínimo de agua nueva de 20 galones por minuto para la cría de 50,000 - 75,000 libras de pescado anual.

El Sena en Santa Marta cuenta con dos modelos de recirculación de agua, el primero es un modelo artesanal valorado en dos millones de pesos, en el cual se hace uso de una turbina, encargada del traslado del agua desde los estanques hasta un filtro biológico para posteriormente ser devuelta por medio de un tubo a presión para que por medio de la turbulencia oxigene el agua. El segundo modelo está valorado en doscientos millones de pesos y cuenta con dos estaciones de bombeo subterráneas, paneles solares que producen la energía necesaria para su funcionamiento, un filtro tambor y una nano burbuja que inyecta oxígeno al agua, en este modelo el rendimiento productivo es mayor (La finca de hoy, 2018).

IPRS: El territorio del Huila es uno de los mayores exportadores de tilapia entera y filete de pescado a mercados internacionales, principalmente al mercado de los Estados Unidos, completando así un aporte de 73.048 toneladas al cierre de 2021, que corresponde al 39% de la producción piscícola nacional.

De esta manera, se ha venido implementando con éxito la tecnología (In pond raceways system – IPRS), que permite una alta circulación de agua por canales con un diseño específico, impulsada por un sistema de Aireación en el que se utilizan motores eléctricos con manguera difusora de aire y el método pantalla, que asegura un eficiente recambio de agua con altos niveles de oxígeno, permitiendo adaptar la densidad de peces de hasta 250 individuos por metro cúbico.

Este nuevo proceso permite aprovechar las condiciones únicas que ofrece el departamento para el desarrollo de actividad, como calidad del agua, temperatura, y otras variables que impactan la producción.

La recirculación de agua es un proceso que muy poco se lleva a cabo en Colombia debido a que es necesario pasar todo el volumen de agua a través de unos filtros, el físico, el filtro mecánico y filtro biológico, la implementación de este sistema es demasiado costoso y adicionalmente en Colombia no se cuenta con todas las tecnologías necesarias

7.1.12 Factores que influyen en la cantidad de agua necesaria para la piscicultura

La cantidad de agua necesaria para la piscicultura varía según diversos factores, entre ellos:

Especie de pez

Cada especie de pez tiene requerimientos específicos de agua, tanto en términos de calidad como de cantidad. Por ejemplo, los peces de agua fría como la trucha necesitan más oxígeno disuelto en el agua que los peces de agua cálida como la tilapia.

Densidad de población

La cantidad de agua necesaria también depende de la cantidad de peces que se mantengan en un determinado volumen de agua. Una mayor densidad de población requerirá una cantidad proporcionalmente mayor de agua.

Cantidad de agua necesaria para la piscicultura en estanques

Los estanques son uno de los sistemas de producción más utilizados en la piscicultura. La cantidad de agua necesaria para la piscicultura en estanques varía según el tamaño del estanque, la especie de pez y la densidad de población.

A continuación, se presentan algunas estimaciones de la cantidad de agua necesaria para la piscicultura en estanques:

Trucha arcoíris

- Densidad de población: 30 kg/m³
- Cantidad de agua necesaria: 3 a 4 litros por segundo por cada tonelada de peces

Tilapia

- Densidad de población: 20 kg/m³
- Cantidad de agua necesaria: 1 a 2 litros por segundo por cada tonelada de peces

7.1.13 Cantidad de agua necesaria para la piscicultura en sistemas de recirculación

Los sistemas de circulación de agua son una alternativa a los estanques que permiten un mayor control sobre la calidad del agua y el ambiente de los peces. Estos sistemas requieren una menor cantidad de agua que los estanques, aunque su construcción y operación son más costosas.

La cantidad de agua necesaria para la piscicultura en sistemas de recirculación varía según la especie de pez y la densidad de población. A continuación, se presentan algunas estimaciones de la cantidad de agua necesaria para la piscicultura en sistemas de recirculación:

Trucha arcoíris

- Densidad de población: 30 kg/m³
- Cantidad de agua necesaria: 0,05 a 0,1 litros por segundo por cada kilogramo de peces

Tilapia

- Densidad de población: 20 kg/m³
- Cantidad de agua necesaria: 0,03 a 0,05 litros por segundo por cada kilogramo de peces

7.2 Prácticas y procesos de producción piscícola implementados en La Estación Piscícola San José del Nus.

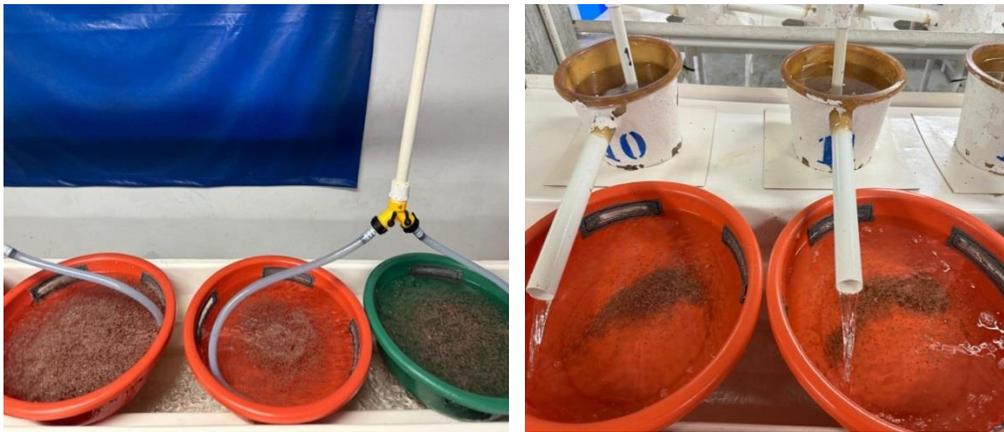
7.2.1 Proceso de producción

La Estación Piscícola San José del Nus cuenta con un laboratorio de incubación, cuatro estanques de geomembrana, 10 estanques de tierra, 16 estanques de producción, 24 estanques diseñados para investigación y un lago con 30 jaulas flotantes (ver Figura 18).

El proceso de producción inicia con el desove de los peces reproductores, de tilapia roja y nilótica, estos huevos son trasladados hacia el laboratorio de incubación donde son dispuestos en

incubadoras durante 8 días, mientras se realiza el proceso de eclosión de los huevos y la reabsorción del saco vitelino, una vez culminado este proceso los huevos pasan a ser larvas, de las cuales una parte de estas son vendidas, según la demanda existente en el momento y los restantes son trasladados a los estanques de producción para ser sembrados. A continuación, se describe el proceso de producción que se desarrolla en cada una de las unidades de la estación piscícola:

Figura 12. Incubadoras



Fuente: Propia

Estanques de producción: Los estanques cuentan con un área aproximada de 200m² metros cuadrados, en esta unidad se siembra una densidad de 150.000 larvas por estanque, para iniciar su etapa de alevinaje, la cual tiene un tiempo de duración de 24 días, con una frecuencia de alimentación diaria de 8 veces, con alimento concentrado de proteína al 45%, en esta etapa se vendiendo los alevinos según la demanda y los que queden serán dispuestos para la etapa de levante y engorde; los alevinos que serán comercializados se disponen en los estanques de investigación los cuales tienen una medida de 1 m³, se les añade peróxido de hidrogeno al 50% y sal marina para limpiar y desparasitar para posteriormente ser despachados a los compradores; gran parte del departamento de Antioquia es surtido con alevinos provenientes de esta estación piscícola, finalmente los alevinos que no son comercializados son dispuesto en los estanques de producción para la etapa de levante.

Figura 13. Estanques de producción



Fuente: Propia

Estanques de tierra: Los estanques tienen un área determinada de 40 m² aproximadamente, estos estanques son dispuestos para la etapa de levante, a excepción de los estanques 4 y 5 que son utilizados para docencia, contienen diferentes especies de peces, como cachama, bocachico, doradas, etc. llegando a tener 10 años de vida o más en algunos casos.

En los 8 estanques restantes los alevinos son sembrados para la etapa de levante, cuando tienen un tamaño aproximado de 5cm, con una densidad máxima de 300 alevinos por estanque, donde serán alimentados 8 veces al día, hasta que alcancen un tamaño de 7cm, una vez alcanzado el tamaño requerido, son separados, los que serán dispuestos para próximos reproductores y los que pasaran a la fase de engorde.

Figura 14. Estanques de tierra



Fuente: Propia

Figura 15. Estanque 5 - Docencia



Fuente: Propia

Estanques de Geomembrana: Estos estanques fueron construidos inicialmente para la implementación de un proyecto investigación y de cultivo de Bagres, una vez finalizó el proyecto el espacio ha sido utilizado como unidad de apoyo cuando se requiere espacio adicional, este espacio es utilizado mayoritariamente en el proceso de engorde de peces, o en la disposición de alevinos mientras se hace el proceso de comercialización de los mismos.

Figura 16. Tanques de Geomembrana



Fuente: Propia

Lago. Una vez los peces alcanzan un tamaño promedio de 7 cm con un peso aproximado entre 100- 120 gramos son trasladados al lago, dispuestas en jaulas flotantes de un tamaño de 15 m³ y con una capacidad hasta de 800 peces por Jaula, sistema de producción intensivo, que permiten la producción controlada y cuantificada de tilapia, minimizando el riesgo de migración las especies a los ecosistemas nativos. Los peces sembrados en jaulas requieren una cantidad y calidad de alimento adecuado para promover su crecimiento, en esta etapa los peces son alimentados 3 veces al día, con un porcentaje de proteína cruda en alimento de 28 a 30% y con 5% de fuentes animales.

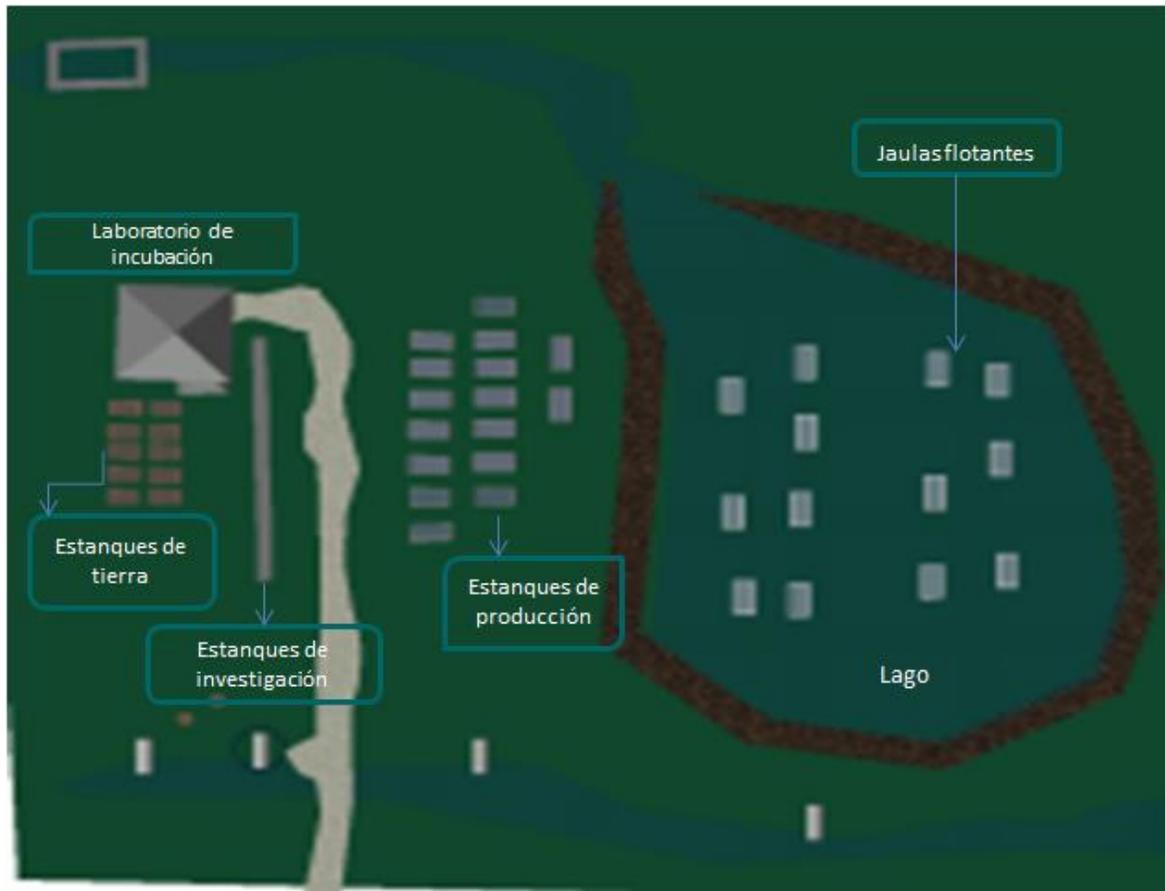
Figura 17. Lago



Fuente: Propia

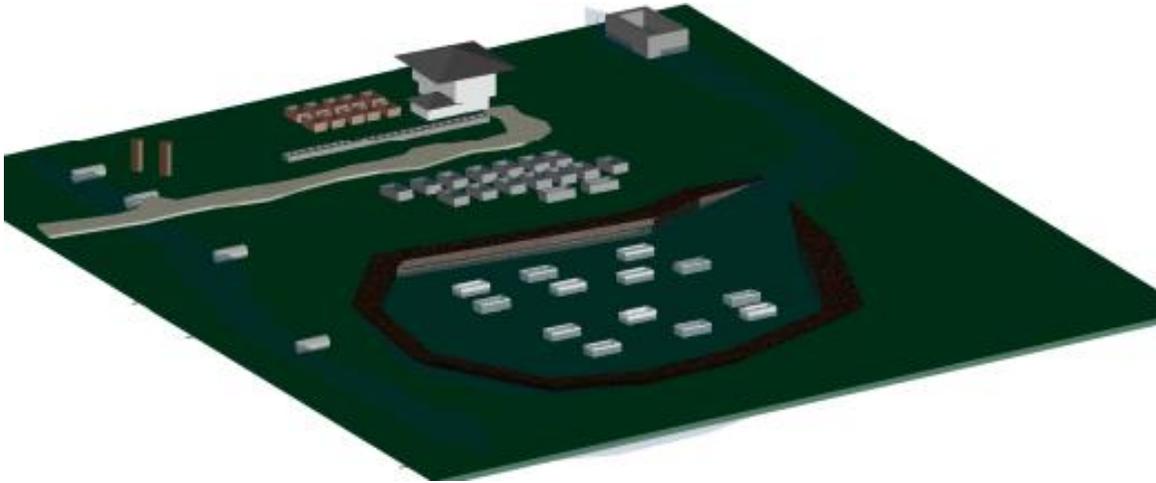
A continuación, se muestra la estación piscícola san José del Nus esquematizado con sus diferentes unidades de producción, para facilitar la comprensión de lo anteriormente descrito.

Figura 18. Esquema de la estación: vista superior



Fuente: Propia

Figura 19. Esquema de la estación: vista lateral izquierda



Fuente: Propia

Figura 20. Esquema de la estación: vista lateral derecho



Fuente: Universidad de Antioquia

Durante las visitas de campo realizadas en la estación se logró evidenciar, presencia de algas roja en el lago, esto durante la primera visita que se realizó en el mes de febrero, en la última visita se evidencio peces de cultivo en el exterior de las jaulas, esto como consecuencia de depredadores como las nutrias que amenazan los cultivos, rompiendo las jaulas y provocando la migración de peces de cultivo.

Figura 21. Migración de peces al exterior de las jaulas



Fuente: Propia

7.2.2 Uso y manejo del agua

El abastecimiento de agua de las diferentes unidades de producción es captado de la quebrada La Vega, mediante un pequeño desvío de caudal que logra la provisión de suficiente recurso hídrico hacia el reservorio construido (Figura 22) que posteriormente es transportada mediante un canal de conducción, con un caudal promedio de 77,8 L/s, según el monitoreo y caracterización realizado por el laboratorio GIGA de la universidad de Antioquia. También se construyó una canalización para el control de rebose como medida de precaución frente a posibles crecientes de la quebrada.

Figura 22. Reservorio de agua



Fuente: Propia

Figura 23. Control de rebose



Fuente: Propia

Figura 24. Canal de conducción



Fuente: Propia

El flujo de agua del canal de conducción es controlado mediante una compuerta (Figura 25) que ayuda a regular caudal requerido según la necesidad y/o demanda de agua en las unidades productivas, adicionalmente, se cuenta con una rejilla en la mitad del canal en mención que sirve como barrera de retención de sólidos gruesos que puedan ser arrastrados por las corrientes de agua en épocas de invierno, durante la visita la rejilla no se encontraba instalada debido a la época seca, en la cual no se hace necesario su uso.

Una vez el agua es utilizada en el proceso, se vierte de nuevo a la quebrada la Vega, cumpliendo con los estándares requeridos por la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. La Corporación Autónoma Regional CORNARE, vigila dicho cumplimiento.

Figura 25. Compuerta de regulación de caudal



Fuente: Propia

Adicionalmente la estación cuenta con un sistema cerrado de circulación de agua, y una planta de tratamiento biológico en el laboratorio de incubación donde los huevos que están en proceso de eclosión requieren inyección y flujo permanente de agua bajo la medición y supervisión constante de parámetros fisicoquímicos tales como; amonio, nitrito, nitrato, salinidad, temperatura y pH.

Figura 26. Recirculación de agua en laboratorio de incubación



Fuente: Propia

Tabla 13. Parámetros medidos diariamente en laboratorio de incubación

Parámetro	Valores máximos	Valores mínimos	Promedio
Nitrito	5	0	2.9
Nitrato	1.0	0	0.2
Amonio	4.0	0.5	1.5
Salinidad	0.6	0.2	7.6
Temperatura °C	29.6	27.5	28.6
pH	7.2	6.0	6.3

Fuente: Propia

7.2.1 Vertimientos

Una vez el agua es utilizada en el proceso productivo se vierte de nuevo a la quebrada La Vega, donde debe cumplir con los estándares requeridos por la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, donde la Corporación Autónoma Regional CORNARE, vigila dicho cumplimiento, haciendo necesario la medición de parámetros fisicoquímicos para determinar el cumplimiento de la normatividad.

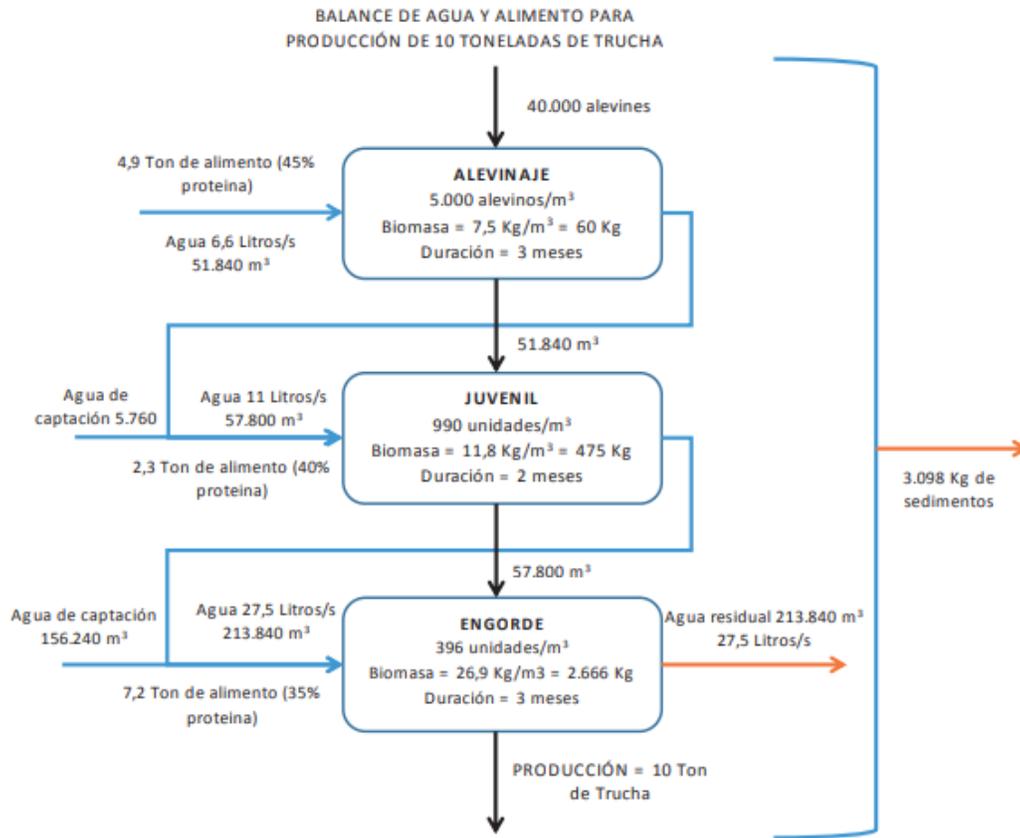
Los vertimientos son provenientes de cada una de las unidades de productivas a excepción del laboratorio de incubación, que como ya se menciono tiene un sistema de recirculación de agua, las descargas provienen de los estanques de producción, estanques de tierra, estanques de investigación y lago, a un kilómetro aguas debajo de la captación de agua que ingresa al proceso aproximadamente.

7.3 Impactos de las prácticas de producción piscícola sobre calidad del agua

Las prácticas habituales que se utilizan para el cultivo de peces impactan en el medio ambiente a través de distintas formas. Una de ellas es la alimentación de los peces la cual interviene, tanto en la columna de agua como al fondo de los estanques

El proceso resulta de la utilización de concentrado comercial para la alimentación de los peces generando una gran adición de fosfatos, nitratos y otros nutrientes cuyo impacto se puede ver reflejado notablemente en la sedimentación de los estanques. Las investigaciones que se recopilan en este estudio han detectado que este último fenómeno afecta aumentando la cantidad de nitrógeno y fósforo de los sistemas acuáticos, disminuyendo el oxígeno disponible, generando eutrofización, estimulando la aparición de algunos organismos y alterando gravemente los ecosistemas acuáticos, el exceso de nutrientes que genera la aceleración del proceso y ocasiona el crecimiento acelerado de algas, la muerte de peces, la modificación de los micro ecosistemas acuáticos bentónicos y demás flora y fauna acuática, lo que conlleva a la generación de condiciones anaerobias. A continuación, se ejemplifica el balance entre alimento y su relación

Figura 27. Balance de consumo de alimento - Generación de sedimentos



Fuente: CORANTIOQUIA, 2016

Tabla 14. Balance consumo de alimento – Generación de sedimento TRUCHA

BALANCE ALIMENTO - PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS					
ALIMENTO CONSUMIDO PARA 10 TONELADAS DE TRUCHA		14,4			
		Contenido (Kg)	Kg consumidos	Kg pérdidas	Kg desechos
Carbono	44%	6.336			
Nitrógeno	7,70%	1.109			
CONSUMO	80%		5.956		
Consumo carbono			5.069		
Consumo nitrógeno			887		
PÉRDIDAS DE ALIMENTOS	20%			1.489	
Pérdida carbono				1.267	
Pérdida nitrógeno				222	
DESECHOS FECALES					1.609
Carbono (30% del carbono consumido)	30%				1.521
Nitrógeno (10% del Nitrógeno consumido)	10%				89
EXCRECIONES (65% del N consumido)	65%	577	Kg de Nitrógeno amoniacal disuelto en agua		
Total sedimentos (Pérdidas de alimento + desechos fecales). Kg			3.098		

Fuente: CORANTIOQUIA, 2016

El éxito del cultivo de la trucha depende de varios factores como son la cantidad y calidad del agua, la densidad de siembra, la uniformidad en los tamaños, el manejo y la alimentación (DINARA, 2010). La cantidad y la calidad del agua son los factores más importantes a tener en cuenta para el cultivo de la trucha, necesiéndose un nivel de oxígeno superiora 7.0 ppm en la entrada de los tanques y no inferior a 5.0 ppm en la descarga, el pH debe estar entre 7 y 8.5 y la temperatura óptima para el engorde es de 15° C (Corral, et al 2000).

Tabla 15. Indicadores de consumo de agua, alimento – Generación de sedimentos, a partir del balance de masa y agua

BALANCE MASA Y AGUA			
Producción Toneladas de trucha/año	10		
	Consumo m ³ /día	Alimento (Ton)	Producción sedimentos (Kg)
ALEVINAJE	576	4,9	3.098
JUVENIL	384	2,3	
ENGORDE Y COSECHA	1.416	7,2	
TOTAL	2.376	14,4	
Caudal de agua captada	27,5	Litros/s	
Caudal de agua captada/Ton de trucha	2,75	Litros/s-Ton	
Producción de sedimentos	310	Kg/ton de trucha	

Fuente: CORANTIOQUIA, 2016

La Tilapia en comparación con otros peces, posee extraordinarias cualidades para el cultivo, como: crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades, adaptación a cautiverio, aceptación de una amplia gama de alimentos, alta resistencia a enfermedades, además de contar con algunos atributos para el mercado, como: carne blanca de buena calidad, buen sabor, poca espina, buena talla, que le confiere una preferencia y demanda comercial en la acuicultura mundial.

Tabla 16. Consumo de alimento – Generación de sedimentos Tilapia

BALANCE ALIMENTO - PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS					
ALIMENTO CONSUMIDO PARA 23 TONELADAS DE TILAPIA		321,2	Kg		
		Contenido (Kg)	Kg consumidos	Kg pérdidas	Kg desechos
Carbono	44%	141			
Nitrógeno	7,70%	25			
CONSUMO	80%		133		
Consumo carbono			113		
Consumo nitrógeno			20		
PÉRDIDAS DE ALIMENTOS	20%			33	
Pérdida carbono				28	
Pérdida nitrógeno				5	
DESECHOS FECALES					36
Carbono (30% del carbono consumido)	30%				34
Nitrógeno (10% del Nitrógeno consumido)	10%				2
EXCRECIONES (65% del N consumido)	65%	13	Kg de Nitrógeno amoniacal disuelto en agua		
Total sedimentos (Pérdidas de alimento + desechos fecales). Kg			69		

Fuente: CORANTIOQUIA, 2016

Tabla 17. Indicadores de consumo de agua – Generación de sedimentos – Tilapia

BALANCE MASA Y AGUA			
Producción Toneladas de tilapia	23		
	Consumo de agua	Alimento (Kg)	Producción
CRIANZA	120.000	63,2	69
PRE-ENGORDE (JUVENIL)	313.600	6,5	
ENGORDE Y COSECHA	518.616	251,5	
TOTAL	952.216	321,2	
Caudal de agua captada/día L/s	212	Litros/s	
Caudal de agua captada/Ton de Tilapia	9,2	Litros/s-Ton	
Producción de sedimentos	3	Kg/ton de tilapia	

Fuente: CORANTIOQUIA, 2016

Otro, de los aspectos críticos en la relación entre la producción piscícola y la calidad del agua es la alteración de parámetros fisicoquímicos, especialmente la concentración de nitrógeno y fósforo, debido a la excreción de los peces y la disolución de alimentos concentrados. Estos compuestos nutricionales, aunque esenciales para el crecimiento de los peces, conducen a la eutrofización de cuerpos de agua, un proceso caracterizado por el crecimiento excesivo de algas

y plantas acuáticas que deteriora significativamente la calidad del agua y la biodiversidad acuática.

Adicionalmente de los problemas de calidad de agua y de suelo que se presentan en un estanque son generados por el suministro de alimento concentrado, el cual causa problemas de disminución de oxígeno, incremento de nutrientes, de materia orgánica, de amonio y disminución de pH, estos factores a su vez estresaran a los peces disminuyendo el consumo de alimento exacerbando el problema de calidad del agua (Rodríguez & Anzola, 2001).

Tomando como referencia los criterios de calidad admisible para la preservación de la vida acuática en aguas dulces los lagos naturales de alta montaña presentan un valor de pH comprendido entre 6.5 y 7.5 mientras que el pH en lagos no contaminados oscila entre 6.0 y 9.0. Artículo 2.2.3.3.9.10. (Decreto 703 de 2018).

El pH del agua suele ser afectado por la existencia de animales en producción, donde los peces realizan los procesos de excreción aumentando sus desechos orgánicos según la intensidad del cultivo y, por ende, afecta el pH del agua como consecuencia de la degradación de la materia orgánica. Así mismo se puede encontrar afectación sobre la turbidez del agua generada por los alimentos no ingeridos y excreción.

Rafo y Ruiz (2014). aseguran que la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno determinan la cantidad de materia orgánica putrescibles que se encuentran presentes en el agua contaminada, por lo anterior se puede explicar que la materia orgánica presente en el agua puede asociarse al grado de contaminación del sistema productivo y, por ende, mayor cantidad de oxígeno necesitan los microorganismos para oxidar o degradar los residuos orgánicos provocando así, altos valores de DBO5 y DQO con respecto a los puntos de control.

Los valores de DQO de una agua residual suele ser mayor referente a los valores de DBO, debido a la mayor cantidad de compuestos que se deben oxidar por la vía química frente a los que se oxidan por vía biológica; esto demuestra que los sistemas productivos vesículas evidencian el mismo comportamiento presentando mayores valores de DQO frente a la DBO que

presentó menores valores, es así como los diferentes cultivos afectan en diferente grado y negativamente a la calidad del agua debido a la aplicación de productos farmacéuticos, aditivos y productos de desinfección para la limpieza de las mallas y jaulas, aunque parece que las intensidades de cultivo alcanzan a mitigar estos problemas Según Jiménez & Vélez.

Según Burbano (2018). En su estudio realizado en el lago Guamúz Los valores encontrados de nitritos y nitratos son mayores a los reportados para sistemas naturales sin intervención humana o actividad agropecuaria, en los cuales ha sido establecido con promedios menores o iguales a 0.001 para los primeros 0,1mg/l.

El fósforo total tiene un comportamiento similar a los nitratos es decir con diferencias significativas entre los sitios de cultivo que aumenta a medida que la intensidad de cultivos se incrementa, aunque las diferencias no son significativas. Por lo anterior se puede deducir que la actividad piscícola aporta mayores cantidades de nutrientes debido al uso de concentrados y residuos metabólicos excretados por los peces si bien es cierto esos valores no representan un riesgo para la calidad del agua se debe tener muy en cuenta las densidades de siembra que se manejan en los cultivos y el manejo de raciones alimenticias puestos que están causando cambios en el ambiente acuático que podría llegar a ser crítico si no se da un manejo responsable de estos cultivos y la aplicación de buenas prácticas de acuicultura puesto que la eutrofización es un proceso común dentro de la vida de los lagos de aguas dulce sufren cambios de forma natural desde un sistema oligotrófico a eutrófico en el transcurso del tiempo pues se observa un pequeño incremento en estos parámetros donde se encuentran localizados los cultivos acuícolas. Según Mendoza el nivel o el límite natural de concentración de fósforo total en cuerpos de agua dulce es de 0,03 mg/litro. (Burbano et al, 2019).

(Vidal et al., 2017). Menciona que El fitoplancton es la fuente principal de oxígeno disuelto en el estanque que es consumido durante la respiración de los peces. Debido a que la fotosíntesis requiere de la luz solar, durante la noche se suspende la producción de oxígeno aun cuando la respiración continúa, dando como resultado la disminución de los niveles de oxígeno disuelto y el aumento del bióxido de carbono en el estanque.

Entre los factores que pueden causar una insuficiente producción de oxígeno están la escasez o sobreproducción de fitoplancton, el incremento de materia orgánica, exceso de alimento y/o organismos muertos, ya que el oxígeno será consumido por los microorganismos para descomponer la materia orgánica (Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO).

La capacidad del agua para mantener el oxígeno disuelto (capacidad de carga), es afectada por la temperatura y la altitud. Es necesario resaltar que las buenas prácticas de manejo en el cultivo impedirán que el sistema se sobrecargue de materia orgánica proveniente de las excretas de los peces y la acumulación de alimento no consumido, factor considerado como uno de los que más influye en la DBO, en la baja productividad y en muertes masivas de los organismos cultivados. La densidad de siembra es otro factor importante que puede conducir a bajos niveles de oxígeno disuelto (OSPESCA, 2017).

Con la intensificación del cultivo se incrementa la biomasa, lo que a su vez incrementa el consumo de oxígeno y reduce los niveles disponibles, aspecto crítico durante la noche donde la fotosíntesis se ve interrumpida. La intensificación también incrementa la producción de materia orgánica por las excretas y el alimento, las excretas de los peces contienen altas cantidades de sustancias nitrogenadas, como ácido úrico, urea, amonio y el amoniaco; lo que influye en la reducción del oxígeno y alteración en las condiciones óptimas para la supervivencia de los peces en el estanque, aspectos que se deben tener en cuenta desde la etapa de planeación del cultivo para evitar que se presenten problemas.

Dentro de las opciones para incrementar la disponibilidad de oxígeno en un sistema de cultivo se encuentran el aumento del flujo de agua y/o el uso de aireadores. Esto podría tener un costo adicional, pero permite incrementar la densidad de siembra con los consiguientes beneficios económicos. Sin embargo, puede ser difícil llevarlo a cabo en localidades donde la energía eléctrica no es accesible. En este sentido el uso de aireadores que estén adaptados a sistemas de celdas solares es una posibilidad práctica (Vidal et al., 2017).

7.4 Efectos sobre la biodiversidad acuática

El principal problema ambiental asociado a la acuicultura es la contaminación del agua. Las granjas acuícolas producen grandes cantidades de residuos, incluyendo excrementos de peces, alimentos no consumidos y productos químicos, los cuales pueden tener efectos nocivos sobre el ecosistema si no son manejados adecuadamente. Esto se debe a que estos desechos causan eutrofización de los cuerpos de agua, un fenómeno que provoca el crecimiento excesivo de algas y puede resultar en la disminución del oxígeno disponible para otras especies, alterando de esta manera la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos.

Los desechos, tanto orgánicos como inorgánicos, de las piscifactorías pueden causar un enriquecimiento en nutrientes y eutrofización en el caso de que las zonas destinadas al cultivo sean semiconfinadas. Cerca del 85 % del Fósforo, un 80-88% del Carbono y un 52-95% del Nitrógeno introducido en las jaulas pueden pasar al medio acuático a través de los desechos de la comida, las excreciones de los peces, la producción de heces y la respiración. (Molina, L. 2004).

La eutrofización, un proceso inducido por el enriquecimiento de nutrientes en cuerpos de agua, se ha identificado como una de las principales consecuencias ambientales asociadas con la acuicultura. Investigaciones realizadas por autores como García et al. (2017) demuestran cómo el exceso de nutrientes, particularmente nitrógeno y fósforo derivados de los alimentos y excrementos de los peces, promueve el crecimiento descontrolado de algas y plantas acuáticas. Este crecimiento excesivo puede conducir a la depleción del oxígeno en el agua, afectando adversamente la supervivencia de especies acuáticas y la biodiversidad.

Además, la contaminación por nutrientes se ve exacerbada por el uso de productos químicos en la producción piscícola, incluidos los medicamentos y desinfectantes utilizados para controlar enfermedades en los peces. Según estudios de Hernández et al. (2018), estos compuestos químicos pueden acumularse en el agua y en los sedimentos, provocando efectos tóxicos en la fauna acuática y alterando la composición química del agua. La persistencia de estas sustancias en el ambiente acuático plantea riesgos no solo para los ecosistemas acuáticos, sino también para

la salud humana, dado el potencial de bioacumulación de ciertos contaminantes en la cadena alimentaria.

7.5 Efectos sobre los ecosistemas circundantes

La alteración de los ecosistemas acuáticos es otro impacto significativo de la producción piscícola. La construcción de instalaciones acuícolas en hábitats naturales, como lagos, ríos y zonas costeras, puede modificar físicamente el entorno, afectando la conectividad del hábitat, el flujo de agua y la sedimentación. Como señalan López et al. (2019), estas alteraciones pueden tener consecuencias a largo plazo para la estructura y función de los ecosistemas acuáticos, incluida la pérdida de biodiversidad. Además, la introducción de especies exóticas para la acuicultura puede competir con las especies nativas por recursos, resultando en cambios en la dinámica de los ecosistemas y en algunos casos, en la extinción de especies autóctonas.

Algunos de los efectos más visibles que se pueden atribuir a la contaminación en general, y a la eutrofización e hipertrofización en particular, son cambios en la vegetación del bentos marino, compuesto por microalgas, macroalgas y plantas vasculares.

Por otro lado, Todos los años llegan noticias de la fuga de especies de cultivo de las jaulas de peces en aguas costeras, debido principalmente a fenómenos atmosféricos, accidentes o a la acción de algunos mamíferos marinos. Los datos que se reportan acerca del número de individuos deben tomarse con cautela, ya que la mayoría de las legislaciones no obliga a la difusión de estos datos.

Las especies escapadas pueden provocar daños ecológicos, en la salud de las poblaciones salvajes y en su genética. En la literatura no existen muchos estudios sobre el impacto que tienen las especies escapadas en su entorno, mientras que el número de nuevas especies carnívoras introducidas para su cultivo sigue aumentando. Las especies cultivadas que se escapan son una amenaza para las especies salvajes, ya que compiten por el hábitat y por el alimento, con los efectos que esto tiene en las redes tróficas de los ecosistemas. Por otro lado, son portadores de enfermedades y de los posibles cruces con individuos de especies salvajes tendrán consecuencias

graves para la solidez del material genético. La información genética de las especies cultivadas está adaptada a las condiciones de cultivo (alta densidad de cultivo, temperatura, condiciones de estrés...), e incluso adaptada a las exigencias de los mercados (uniformidad de tallas y viabilidad de cría todo el año, entre otros). Las especies salvajes, en cambio, tienen una información genética modificada durante millones de años y en equilibrio con sus condiciones medioambientales.

En términos generales, el flujo de genes dentro de una población maximiza la diversidad genética dentro de la especie, mientras que la convergencia eventual del flujo de genes entre diferentes poblaciones reduce la diversidad total de una especie. De este modo, cuando existe un cruce entre los animales salvajes y los de cultivo el material genético de las dos poblaciones conduce a una pérdida en la diversidad genética.

7.6 Implicaciones para la salud humana

Recapitulando todo lo anteriormente expuesto, Se sabe que el sector piscícola fundamentalmente genera nutrientes (nitrógeno y fósforo) los cuales tienen impactos ambientales conocidos, como la eutrofización. Sin embargo, hay otro espectro de contaminantes relacionado con el desarrollo inicial y posterior engorde de los peces, así como el control de patógenos del cultivo. Los contaminantes de mayor interés en estas fases son las hormonas y los antibióticos. Estas sustancias constituyen un amplio grupo de compuestos químicos que son el centro de atención para investigación en calidad del agua y salud humana, ya que las trazas de estos compuestos una vez descargadas en el ambiente tienen efectos endocrinológicos en animales superiores y humanos; por otro lado los antibióticos, además de desequilibrar los ecosistemas acuáticos, contribuyen a la resistencia microbiana con todo lo que ello implica en términos de patógenos cada vez más resistentes y agresivos.

El uso de estrógenos sintéticos como el 17α etinilestradiol y el dietilstilbestrol han venido siendo utilizados en una variedad de especies y son los más potentes agentes feminizantes probados, sin embargo, este último no debería ser siquiera considerado por sus propiedades cancerígenas (Piferrer, 2001).

7.7 Sostenibilidad de sector

Según la (FAO, 1988): “Desarrollo sostenible es la gestión y conservación de los recursos naturales y el cambio en la orientación tecnológica e institucional que asegure el alcance y la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones actuales y futuras.

Los peces requieren de una dieta nutritiva y adecuada en cantidad y calidad, para mantener su sistema inmunológico en óptimas condiciones. El suministro de dieta inadecuada puede mantener los peces vivos, pero debilita su sistema inmunológico con lo que aumenta el riesgo de enfermedades. Así mismo los peces mantenidos en ambientes acuáticos apropiados, serán menos susceptibles a los organismos patógenos, generándose una mayor respuesta del organismo al agresor (Balbuena, 2011).

El nivel de oxígeno disuelto tiene un impacto en la ingesta de alimento y por ende es determinante en el crecimiento animal. En general, la ingesta de alimento disminuye al disminuir el oxígeno disuelto, ya que este rasgo fisiológico está limitado por la capacidad de absorción de oxígeno. Los peces pueden presentar depresión metabólica como parte de una respuesta adaptativa a una situación de estrés (por ejemplo, hipoxia), lo que da como resultado una regulación a la baja de la actividad metabólica por múltiples factores de señalización a nivel tisular y celular (Magnoni et al 2018).

Información que se comprueba en los hallazgos encontrados en la investigación realizada por Correa et al 2023 en San Carlos Antioquia comprueba que la exposición de peces a condiciones inadecuadas de oxígeno, pH y otros parámetros fisicoquímicos afecta el desarrollo de las especies, en el estudio se evidenciaron hallazgos macroscópicos de órganos evidenciaron anomalías, principalmente en ojos, riñón posterior e hígado, con más del 30% de los peces afectados a nivel de los ojos, se observó opacidad corneal unilateral y bilateral, (Leith et al, 2017) manifiestan que las lesiones oculares, generalmente, se observan en la mayoría de las enfermedades bacterianas sistémicas y los órganos internos afectados como riñón e hígado presentan agrandamiento, hemorragia, inflamación y ascitis; sin embargo, las manifestaciones clínicas causadas por cualquier patógeno ocurren por diversos factores, entre

ellos, la edad del organismo, el tipo de huésped y el estadio de la enfermedad, por lo cual, en muchos casos no se logra correlacionar los daños internos y los externos.

Por otro lado, López y Martínez (2019) analizaron los efectos de la eutrofización en la dinámica de los ecosistemas acuáticos, señalando que el crecimiento descontrolado de algas puede provocar la disminución de los niveles de oxígeno disuelto en el agua, especialmente durante la noche y en los procesos de descomposición algal. Esta situación lleva a condiciones hipóxicas o anóxicas (Falta de oxígeno), poniendo en peligro la supervivencia de especies acuáticas, incluidos los peces cultivados.

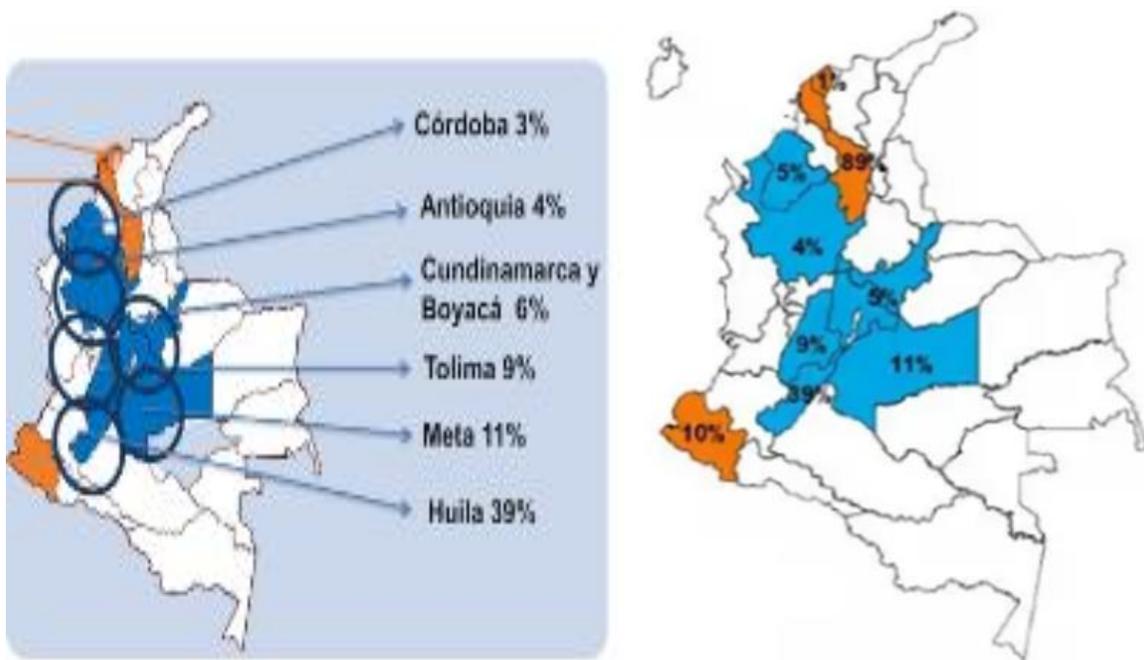
En relación a los impactos asociados a la alerta sanitaria presentada por *Streptococcus Agalactiae* ST7 serotipo Ia', De acuerdo con la Autoridad Nacional De Acuicultura y Pesca, AUNAP, se ha identificado afectación de siete millones de especímenes de tilapia, sin embargo, reiteran que no hay riesgo para la salud humana.

El gerente general encargado del ICA, Juan Fernando Roa, en el mes de junio, en el año 2023 precisó que la entidad ha atendido 29 casos en Huila, diez en Atlántico, tres en Magdalena y uno en Tolima. Los profesionales del Instituto colombiano de agricultura han realizado toma de muestras y diagnóstico oportuno y gratuito para los productores de las regiones afectadas.

“Los casos de mortalidad se han presentado en todas las etapas productivas de la tilapia: cría, alevinaje, levante y engorde, con los siguientes niveles de afectación en cada departamento: Tolima (10%), Huila (12%), Magdalena (37%) y Atlántico (47%)”

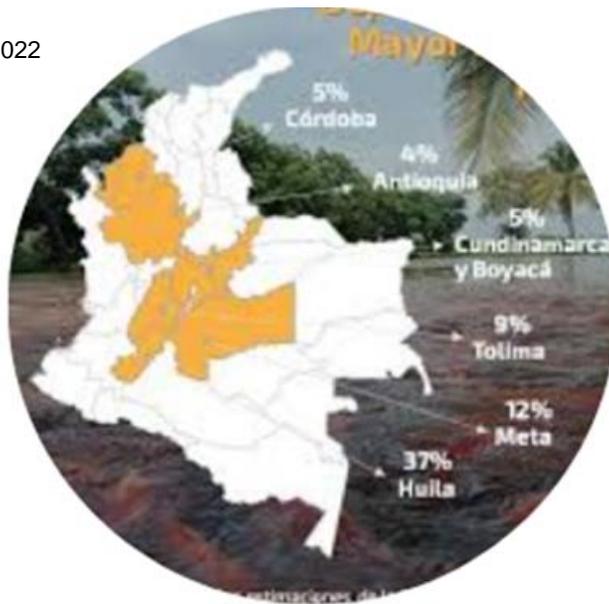
Por último, en pro de profundizar en las afectaciones que generó la emergencia sanitaria en el sector piscícola, se muestra un diagnóstico y comparación del primer semestre de los últimos tres años, con relación a la presencia de *Streptococcus Agalactiae*. (Ver Figura 28) El ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en la dirección de cadenas pecuarias, pesqueras y acuícolas, han ilustrado los departamentos de Colombia con una representación considerada de producción piscícola, como se muestra a continuación.

Figura 28. Producción piscícola por año y departamento



2022

2023



2024

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

En la Figura 28, se evidencia los departamentos con mayor representatividad en el sector piscícola durante los últimos tres años, encontramos el departamento de Huila, Meta, Tolima, Cundinamarca, Boyacá, Córdoba y Antioquia. Se puede evidenciar que el departamento del Huila que ha venido siendo el máximo productor en el país, presentó una reducción significativa frente a los niveles de producción, pasando de producir un 39% del total producido en el país a producir un 37% En el primer semestre de 2024.

Los cultivos, bien sea en el sector agrícola (plantas) o pecuario (animales) siempre estarán expuestos a ataques por agentes patógenos como “virus, hongos, bacterias entre otros”, por lo tanto, existirán 3 condiciones que interactúan para el desarrollo de una infección. Toro (2023)

Estas son:

1. La presencia del organismo patógeno.
2. El medio ambiente inadecuado que genera estrés al pez.
3. Peces débiles y susceptibles de contraer enfermedades.

Para evitar que se presenten estas tres condiciones, se hace necesario tomar medidas de precaución en cuanto a factores físico-químicos, biológicos y de manejo, para así tener una mejor relación entre el cuerpo de agua, pez y medio ambiente óptimo para su mejor desarrollo, simultáneamente se señala la importancia de la periodicidad de monitoreo o, en otras palabras, lo trascendente que es un monitoreo automatizado: “una cosa es medir la temperatura, el pH y la turbiedad del agua, etcétera, tres veces al día y otra tomar esas medidas cada 15 minutos porque muchas cosas pasan en un periodo de una hora en una operación piscícola”. Toro (2023)

Ahora bien, La vacunación es una medida importante de prevención y control que permite, a través de su uso, generar inmunidad en los peces frente a la enfermedad y, de esta manera, disminuir el impacto negativo en relación con la presentación de signos clínicos y mortalidad, así mismo reducir los costos productivos por el uso de antimicrobianos". Medidas que han venido siendo parte de las acciones de control establecidas en la declaratoria de emergencia.

6.4 Calidad fisicoquímica y biológica del agua de la Estación La Estación Piscícola San José del Nus

En la piscicultura, el agua es el recurso fundamental para la producción, ya que de ella depende no solo la especie que pueda cultivarse, sino también la intensidad de producción en términos de biomasa por unidad de área (Botero et al, 2006) Por consiguiente, el agua que abastece a la Estación Piscícola San José del Nus debe ser continuamente monitoreada y se debe tener un cuidado especial para su conservación y evitar que escasee o que su calidad se vea comprometida, la calidad incluye parámetros como la temperatura, la concentración de oxígeno, el contenido de sales minerales, el pH y los niveles de contaminantes como se mencionó previamente.

Para dar respuesta a este objetivo específico, se realizó un análisis de los datos correspondientes a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos recopilados en los informes de los años 2019, 2021, 2022 y 2023 realizados por los grupos de investigación GIGA Y G-LIMA a la luz de la normativa nacional vigente: artículos 03, 05 y 15 de la Resolución 0631 de 2015 del MADS, en los cuales se determinan los niveles máximos permisibles para diferentes elementos, sustancias y compuestos químicos que deben ser cumplidos por las empresas cuyas actividades industriales son diferentes a las contempladas en los capítulos V y VI de la Resolución 0631 de 2015. Se exceptúa el año 2020 ya que en este año no se realizó análisis por contingencia sanitaria de COVID 19.

7.7.1 Muestreo

El muestro y caracterización de las aguas residuales no domesticas de La Estación Piscícola San José del Nus de la Universidad de Antioquia se realizaron durante el mes de octubre para los años 2019, 2022 y 2023 y en el mes de noviembre en 2021 (temporada de lluvias), en cuatro (4) puntos que corresponden a las descargas sobre la fuente receptora denominada quebrada a Vega, además de un (1) punto de agua superficial correspondiente a la captación de la misma fuente superficial donde se posteriormente se descargan los vertimientos, para un total de cinco (5)

puntos monitoreados. En la *Tabla 18* se presenta la descripción y las coordenadas respectivas de cada punto monitoreado.

Tabla 18. Puntos de monitoreo

Sitio de muestreo	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Captación quebrada La Vega	06°29'15,1''	-74°50'05,2''	819
Descarga estanque de tierra	06°29'15,3''	-74°50'00,6''	818
Descarga estanque de investigación	06°29'15,4''	-74°50'00,4''	815
Descarga estanque de producción	06°29'16,8''	74°50'00,0''	816
Descarga lago	06°29'21,7''	-74°50'05,2''	818

Fuente: Informes de calidad del agua estación piscícola san José del Nus - laboratorios G-LIMA y LabGIGA

Figura 29. Localización puntos de monitoreo



Fuente: Informe técnico de la estación piscícola

7.7.1 Parámetros medidos in situ captación quebrada La Vega.

Las mediciones in situ se refieren a determinación de parámetros que, por sus características o inestabilidad, deben medirse inmediatamente o es recomendable su medición en campo (LGA, 2019).

Tabla 19. Parámetros medidos in situ captación quebrada La Vega

Parámetro/Año	2019	2021	2022	2023
Caudal (L/s)	77,8	37,10	40,5	60,3
Temperatura (° C)	23,1	22,1	23,7	24,6
pH (U de pH)	7.0	7,3	7,3	6,90
Conductividad (µs/cm)	62,9	122,4	103,6	115,8
Parámetro/Año	2019	2021	2022	2023
Oxígeno disuelto (mg/L)	6,43	5,94	6,64	5,80
% Saturación de oxígeno	84,2	75,5	88,0	78,7

Fuente: Informes de calidad del agua estación piscícola san José del Nus - laboratorios G-LIMA y LabGIGA

7.7.2 Parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio de la captación quebrada La Vega.

Dentro de los parámetros fisicoquímicos evaluados para la captación de la quebrada La Vega, cabe mencionar algunos de ellos como: DBO₅, DQO, SST, SSED, nitratos, estaño, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, antimonio, arsénico, bario, berilio, boro, cromo, molibdeno, litio, plata, selenio, fósforo, grasas y aceites, turbiedad, alcalinidad, Coliformes

termo tolerantes, Coliformes totales, *E. coli*, Aluminio total, cadmio, zinc, cobalto, titanio, vanadio. A continuación, se presentan algunos de estos. (Tabla 20)

Tabla 20. Parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio de la captación quebrada La Vega

Parámetro/año	2019	2021	2022	2023
<i>E. coli</i>	2000	54750	345	341
SST	21	6	<5	no midieron
SOLIDOS TOTALES	104	99	104	110
COLIFORMES	25700	54750	15760	22470
MANGANESO	<0.050	0.106	0.154	0.162
HIERRO	2.01	1.34	1.30	1.179
NITRATOS	<0.13	0.262	0.079	0.075
TURBIEDAD	45.0	8.3	5.90	no midieron

Fuente: Informes de calidad del agua estación piscícola san José del Nus - laboratorios G-LIMA y LabGIGA

Se excluyen todos aquellos parámetros que su resultado se encontró por debajo del límite de medición.

Índices de calidad del agua

La estación piscícola San José del Nus en los monitoreos contratados con los laboratorios han realizado análisis del índice de calidad del agua sobre la captación de agua para las unidades

productivas realizadas sobre la quebrada la vega, con la intencionalidad de saber la calidad de agua que están ingresando a los procesos de producción piscícola, Ver tabla 21.

Tabla 21. Resultados índices de calidad del agua

Sitio de muestre		Valor ICA			
		2019	2021	2022	2023
Condición más crítica	Captación Quebrada la vega	64,9	70,3	77	73
Condición menos crítica	Captación Quebrada la vega	67,3	71,1	78,6	78

Fuente: Informes de calidad del agua estación piscícola san José del Nus - laboratorios G-LIMA y LabGIGA

Los resultados del índice de calidad del agua realizado sobre la captación de la quebrada la vega, arrojando un índice de calidad de agua regular en el año 2019, en los informes revisados para el año 2019 se menciona que la noche anterior al monitoreo se presentó una fuerte lluvia en el corregimiento San José del Nus, donde se ubica la estación piscícola, esto puede ser una causal por el cual los resultados de calidad del agua es regular, teniendo en cuenta que las precipitación generar un crecimiento excesivo de caudal que genera arrastre de sólidos y sedimentos del curso hídrico, lo que puede alterar parámetros como los sólidos Suspendidos Totales y la turbidez, en los siguientes años la calidad de agua es buena tanto en condición menos crítica como en la condición más crítica, como se ilustra anteriormente.

Índices de Contaminación del Agua

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2003) define un índice como “un parámetro o un valor derivado de parámetros, que sugiere, proporciona información acerca de, o describe el estado de un fenómeno, el medio ambiente o un área, con un significado que se extiende más allá de que estén directamente vinculados con el valor de un parámetro”. Por lo tanto, teniendo presente la definición anterior, un índice de calidad de agua es un “parámetro o

valor derivado de parámetros que sugiere, proporciona información de o describe el estado de calidad de las aguas que se estén estudiando”.

Los índices de contaminación (ICOs), se basan en la definición de variables representativas. Dichas variables son divididas en grupos de variables fisicoquímicas que implican un aporte al mismo tipo de contaminación ambiental. Por ello, a través de la implementación de correlaciones entre variables, se definen las ecuaciones para cada uno de los índices de contaminación (Ramírez et al, 1997).

A continuación, se comparan los valores de los de índices de contaminación ICOMO, ICOSUS e ICOpH para la captación ubicada sobre la quebrada La Vega para los periodos años 2019, 2021, 2022 y 2023.

Tabla 22. Resultados índices de contaminación

	Sitio de muestreo	ICOMO				ICOSUS				ICOpH			
		Valor				Valor				Valor			
		2019	2021	2022	2023	2019	2021	2022	2023	2019	2021	2022	2023
Condición más crítica	Captación Quebrada La Vega	0,49	0,55	0,49	0,57	0,04	0	0	0	1,20 x 10-3	2,56 x 10-3	1,64 x 10-3	5,2 x 10-3
Condición menos crítica	Captación Quebrada La Vega	0,47	0,53	0,45	0,5	0,04	0	0	0	1,05 x 10-3	2,08 x 10-3	1,58 x 10-3	1,82 x 10-3

Fuente: Informes de calidad del agua estación piscícola san José del Nus - laboratorios G-LIMA y LabGIGA

Los resultados expuestos en la tabla anterior dejan en evidencia el ICOMO en color amarillo lo que indica que el agua captada de la quebrada la vega presenta un grado de contaminación media por materia orgánica, para todos los años, también se observa que no existe contaminación por pH, las concentraciones oscilan entre (6,51 -7,18 U de pH), tampoco existe contaminación por sólidos suspendidos.

7.7.3 Parámetros de vertimientos a la quebrada la Vega.

Cuando la captación de agua y la descarga de las aguas residuales se realicen en el mismo cuerpo de agua superficial, se debe realizar la medición del valor de la carga entre las mismas de las cantidades másicas (kg) de los metales y metaloides y de los elementos, sustancias o parámetros considerados (Resolución 631, 2015).

Tabla 23. Límites máximos permisibles

	Unidades	SECTOR PISCICOLA (CAPITULO VII, OTRAS ACTIVIDADES)
GENERALES		
pH	Un. de pH	6 a 9
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/l O ₂	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/l O ₂	50
Sólidos suspendidos totales	mg/l SST	50
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/l	1
Grasas y aceites	mg/l	10
COMPUESTOS DE FÓSFORO		
Fósforo total (P)	mg/l	Análisis y reporte
COMPUESTOS DE NITRÓGENO		
Nitrógeno total	mg/l	Análisis y reporte
OTROS PARÁMETROS PARA ANÁLISIS Y REPORTE		
Acidez Total (mg/l CaCO ₃), Alcalinidad Total (mg/l CaCO ₃), Dureza Cálcida (mg/l CaCO ₃), Dureza Total (mg/l CaCO ₃).		
Color real, medidas de absorbancia a las longitudes de onda de 436, 525, 620 nm		

Fuente: Resolución 0631 de 2015

Caudal

Es importante conocer los datos de caudal, porque estos proporcionan información acerca de la cantidad de agua presente en determinado tiempo, el caudal influye en la dilución de contaminantes, en la disponibilidad de oxígeno disuelto, en la capacidad para transportar sedimentos y otros factores ambientales (Antúnez, 2023). Todo esto es muy importante para la toma de decisiones y la implementación de medidas adecuadas para proteger y gestionar de manera adecuada este recurso hídrico

En los estanques de tierra, de investigación y de producción, la medición de caudal se realizó mediante aforo volumétrico, para la captación en la quebrada La Vega, se utilizó el método de área – velocidad.

Tabla 24. Caudal promedio de cada vertimiento

Caudal promedio del vertimiento de c/estanque L/s	2019	2021	2022	2023
Estanques de tierra	13,3	9.67	10,7	11.3
Estanques de investigación	1,09	0.55	0,356	0.3
Estanques de producción	16,9	12.91	14,1	11.5
Lago	46,5	13.97	51,5	43.9

Fuente: Informes de calidad del agua estación piscícola san José del Nus - laboratorios G-LIMA y LabGIGA

Temperatura del agua

La temperatura del agua es un factor crucial que afecta directamente su calidad. Esta relación es influenciada por una serie de procesos físicos y químicos, así como su impacto en los organismos viviente, las altas temperaturas pueden promover el crecimiento de bacterias y algas dañinas. Algunas de estas pueden ser perjudiciales para los humanos al consumir el agua o incluso al entrar en contacto con ella. Por otro lado, si la temperatura del agua es demasiado baja, también puede tener un impacto negativo en su calidad. La baja temperatura ralentiza las reacciones químicas, lo que puede llevar a una acumulación de contaminantes en el agua (Instituto del agua s.f).

Tabla 25. Temperatura de vertimientos

Temperatura del agua (°C)	2019	2021	2022	2023
Estanques de tierra	24,0	22.6	24,0	25.7
Estanques de investigación	25,0	23.0	25,3	26.9
Estanques de producción	26,4	23.2	24,6	25.6
Lago	25,2	24.1	25,3	26.8

Fuente: Informes de calidad del agua estación piscícola san José del Nus - laboratorios G-LIMA y LabGIGA

El potencial de Hidrógeno

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio (H_3O^+) presentes en determinadas sustancias. El pH es importante porque permite comprender cómo interactúan las sustancias y cómo afectan el entorno. Los organismos acuáticos, por ejemplo, se desarrollan en medios con potencial de hidrógeno equilibrado. Por lo tanto, si el agua se vuelve demasiado ácida o básica, se pone en peligro su supervivencia.

Tabla 26. Valores de pH en vertimientos

pH	2019	2021	2022	2023	LMP (mg/L)
Estanques de tierra	6.9	7.2	7.5	7.20	6 a 9
Estanques de investigación	7.1	7.1	7.6	7.41	
Estanques de producción	7.3	7.1	7.7	7.46	
Lago	7.1	7.1	7.2	7.08	

Fuente: Informes de calidad del agua estación piscícola san José del Nus - laboratorios G-LIMA y LabGIGA

LMP: Límite máximo permisible, según resolución 0631 de 2015

Dentro de los parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio y evaluados en las cuatro descargas (estanques de tierra, investigación, producción y el lago) de aguas residuales no domésticas y que se encuentran en la resolución 0631 del 2015, cabe mencionar algunos de ellos como: DBO₅, DQO, SST, SSED, nitratos, nitritos, sulfatos, fluoruros, cloruros, color real 620nm, fósforo total, nitrógeno amoniacal, nitrógeno Kjeldahl, sulfuro, dureza total, acidez alcalinidad, grasas y aceites, hidrocarburos, cianuro total, BTEX, compuestos fenólicos y varios metales. A continuación, se presentan algunos de ellos, DBO, DQO, SST, Grasas y aceites, cabe anotar que todos los otros parámetros evaluados y que no se muestran a continuación cumplen con la norma.

7.7.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es el parámetro más significativo, para medir el grado de contaminación en las aguas residuales, se utiliza para calcular el grado de contaminación y concentración de los componentes orgánicos contenidos en el agua.

Tabla 27. Valores de DBO en vertimientos

(DBO)	2019		2021		2022		2023		LMP (mg/L)
	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)	
Estanques de tierra	4,13	<4,75	<LMC	<3,34	<LMC	<3,71	5,41	5,27	50
Estanques de investigación	<LMC	<0,286	<LMC	<0,19	<LMC	<4,00	<LMC	<0,28	
Estanques de producción	6,12	8,91	<LMC	<4,46	6,49	7,90	<LMC	<4,00	
Lago	<LMC	<12,2	<LMC	<4,83	<LMC	<17,8	6,77	27,71	

Fuente Informes de calidad del agua estación piscícola san José del Nus - laboratorios G-LIMA y LabGIGA

LMP: Límite máximo permisible, según resolución 0631 de 2015

LMC: Límite de cuantificación (4,00 mg/L) corresponde a una concentración mínima de un análisis que puede medirse dentro de los límites especificados de precisión

Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno (DQO) es utilizada para conocer la calidad del agua, esta se define como la cantidad de oxígeno necesario o equivalente para oxidar químicamente la materia orgánica susceptible en una muestra de agua. El valor de la DQO es siempre mayor al de la DBO₅ debido a que existen compuestos susceptibles a la oxidación por vía no biológica.

Tabla 28. Valores de DQO en vertimientos

(DQO)	2019		2021		2022		2023		LMP (mg/L)
	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)	
Estanques de tierra	22,4	25,8	10,6	8,85	<LMC	<LMC	<LMC	<LMC	150
Estanques de investigación	18,5	1,74	<LMC	<LMC	<LMC	<LMC	<LMC	<LMC	
Estanques de producción	24,7	36	17,5	19,5	<LMC	<LMC	<LMC	<LMC	
Lago	17,8	71,5	<LMC	<LMC	<LMC	<LMC	<LMC	<LMC	

Fuente: Informes de calidad del agua estación piscícola san José del Nus - laboratorios G-LIMA y LabGIGA

LMC: Limite de cuantificación

LMP: Límite máximo permisible, según resolución 0631 de 2015

Sólidos Suspendedos Totales

Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua residual se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105° C hasta peso constante, estos sólidos no se sedimentan o por lo menos no lo hacen en tan poco tiempo como los sólidos sedimentables (Sierra, 2011).

Tabla 29. Valores de SST en vertimientos

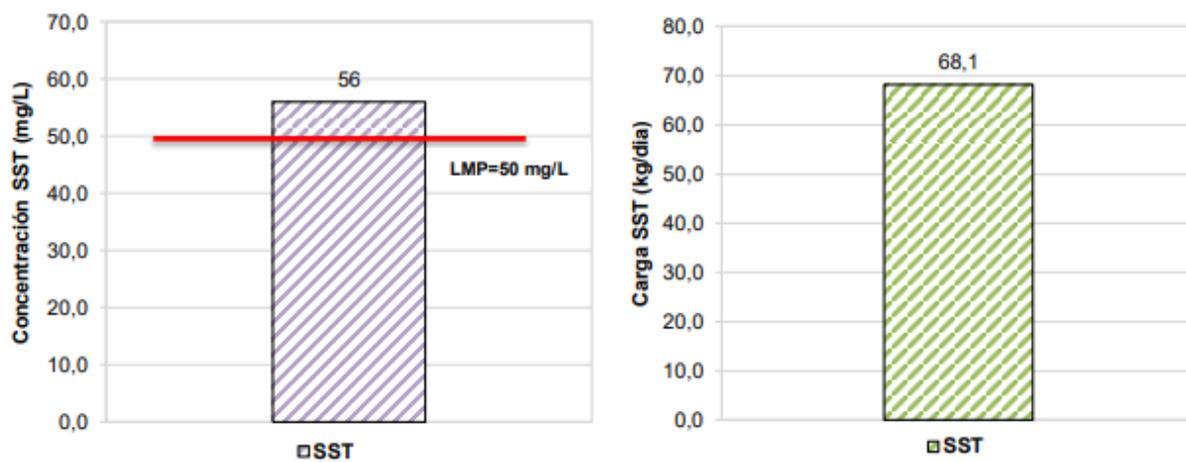
(SST)	2019		2021		2022		2023		LMP (mg/L)
	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)	
Estanques de tierra	16	18,4	<LMC	<4,18	20	18,5	6	5,84	50
Estanques de investigación	<LMC	<0,470	<LMC	<0,24	13	0,400	<LMC	0,14	
Estanques de producción	13	18,9	19	21,2	56	68,1	10	9,95	
Lago	<LMC	<20,1	<LMC	<6,04	9	<40,0	8	30,38	

Fuente: Informes de calidad del agua estación piscícola san José del Nus - laboratorios G-LIMA y LabGIGA

LMC: Limite de cuantificación = 5 mg/L

LMP: Límite máximo permisible, según resolución 0631 de 2015

Figura 30. Concentración de SST en la descarga Estanque Producción.



Fuente: Informe calidad del agua estación piscícola san José del Nus

Sólidos Sedimentables Totales

Los Sólidos sedimentables totales cantidad de sólidos que en un tiempo determinado se depositan en el fondo de un cuerpo de agua, en condiciones estáticas, no está sujeto a movimiento.

En cuanto a los sólidos sedimentables para los vertimientos se obtuvo un valor menor al límite de cuantificación del método de análisis, que es 0,100 ml/L. Durante todos lo monitoreo realizados hasta el día de hoy. La Resolución 0631 de 2015 establece un valor límite permisible de 1,00 ml/L para dichos sólidos, condición que indica el cumplimiento de la norma.

Grasas y Aceites

Las Grasas y Aceites generan trastornos a los sistemas de recolección o recepción de vertimientos, ya que pueden ocasionar obstrucciones en la red de alcantarillado.

Tabla 30. Grasas y Aceites

Aceites y grasas	2019		2021		2022		2023		LMP mg/L
	Concentración (mg/L)	Carga contaminante (kg/día)							
Estanques de tierra	12	13,8	<LMC	<6,68	<LMC	< 7,42	<LMC	< 7,79	10
Estanques de investigación	8	0,753	<LMC	<0,38	<LMC	< 0,246	<LMC	< 0,22	
Estanques de producción	13	18,9	<LMC	<8,92	<LMC	< 9,74	<LMC	< 7,96	
Lago	12	48,2	<LMC	<9,66	<LMC	< 35,6	<LMC	< 30,38	

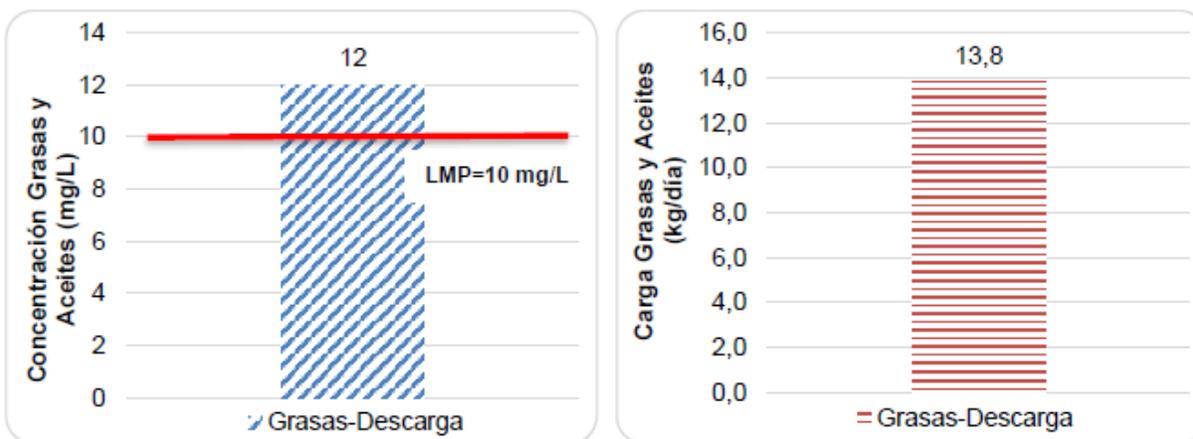
Fuente: Informes de calidad del agua estación piscícola san José del Nus - laboratorios G-LIMA y LabGIGA

LMC: Limite de cuantificación 8,0 mg/L

LMP: Límite máximo permisible, según resolución 0631 de 2015

En el año 2019 La concentración de las grasas y aceites en la descarga del estanque de tierra, presentó un valor 12 mg/L, correspondientes a una carga contaminante de 13,8 kg/día. Excediendo el límite máximo permisible dispuesto en el artículo 15 de la Resolución 0631 de 2015 del MADS, situación que indica el incumplimiento de la norma.

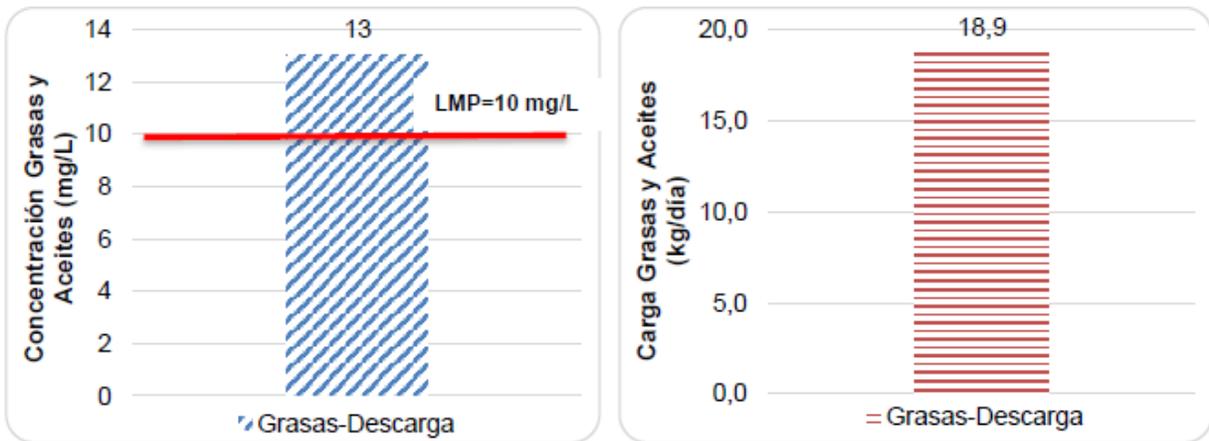
Figura 31. Concentración y carga de grasas y aceites descarga estanque de tierra - 2019.



Fuente: Informe calidad del agua estación piscícola san José del Nus

La concentración de las grasas y aceites en la descarga del estanque de producción, presentó un valor de 13,0 mg/L G y A, correspondientes a una carga contaminante de 18,9 kg/día, situación que indica el incumplimiento de la norma.

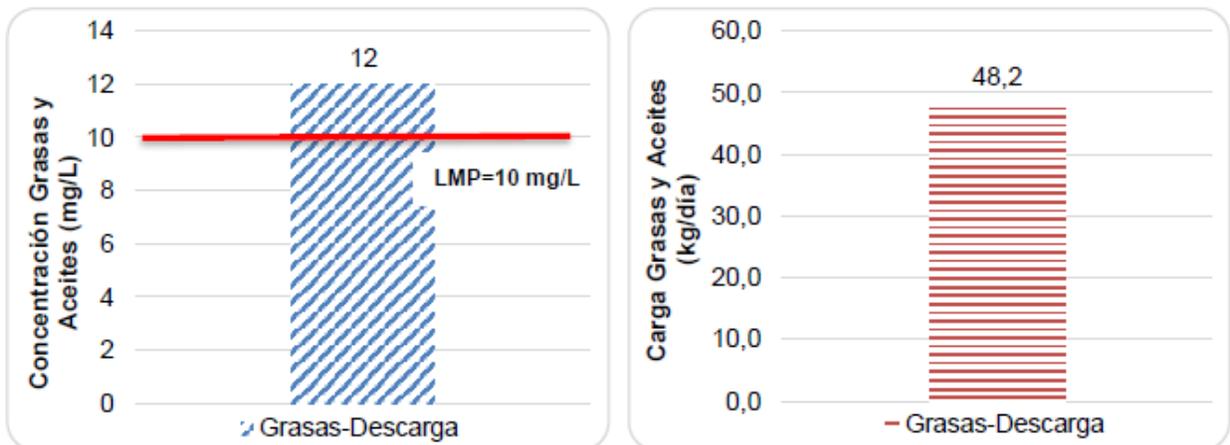
Figura 32. Concentración y carga de grasas y aceites descarga estanque de producción - 2019.



Fuente: Informe calidad del agua estación piscícola san José del Nus

La concentración de las grasas y aceites en la descarga del lago, presentó un valor de 12 mg/L G y A, correspondientes a una carga contaminante de 48,2 kg/día. El artículo 15 de la Resolución 0631 de 2015 del MADS establece un valor límite permisible de 10,0 mg/L, situación que indica el incumplimiento de la norma.

Figura 33. Concentración y carga de grasas y aceites descarga lago- 2019.



Fuente: Informe calidad del agua estación piscícola san José del Nus

8 Análisis de resultados

8.1 Prácticas de producción piscícola, incluyendo los métodos, alimentación, sustancias químicas y manejo del agua utilizados por los productores en Colombia

Se evidencio que los alimentos concentrados utilizados en la producción de peces, está compuesta común alto porcentaje de nutrimentos como proteínas, fosforo, calcio, fibras, lisinas, etc. Adicionalmente los periodos de alimentación varían según el estadio o fase de crecimiento y el peso promedio de los peces, siendo esta más frecuente y con mayores porcentajes de nutrientes en las fases iniciales del crecimiento.

Por consiguiente encontramos que los alimentos se detectan a través de una amplia gama de estímulos químicos (olfato y papilas gustativas), visuales (ojos) y mecánicos (Roonestad et al, 2013), por lo tanto, un mal manejo de la alimentación, granulometría no apropiada de acuerdo con el tamaño de la boca de los peces, animales enfermos, condiciones medioambientales desfavorables y baja palatabilidad del alimento, son causas comunes que contribuyen a aumentar el desperdicio de alimento (Craig & Helfrich, 2017).

Por otro lado, se halló que en Colombia se realiza uso de sustancias químicas como Andrógenos y esteroides en los procesos de reversión sexual y reproducción inducida de los peces, así mismo se encontró que Colombia ha implementado medidas frente al uso indiscriminado de sustancias químicas por medio de prohibiciones realizadas por medio de Decretos.

También se encontró que existen diferentes formas de hacer piscicultura, cada una trae consigo sus ventajas y desventajas, así, como medidas de cuidado que se deben implementar a la hora de la producción de peces, diferentes modos o sistemas que se pueden utilizar, de igual forma se encontró que existen diferentes tecnologías que facilitan la implementación de las practicas productivas, como los IPRS, biofloc, y recirculación de agua, Se logró evidenciar que en Colombia se hace uso de algunas de estas tecnologías, como por ejemplo los procesos de reincorporación de los excombatientes, que son liderados por ONU, en la implementación de proyectos productivos, como alternativa de supervivencia en la vida civil, quienes han

implementados unidades de producción piscícola en el Urabá Antioqueño, con el uso de la tecnología biofloc, (Gobernación de Antioquia, 2021) También (Torres , 2017) menciona en su granja de producción realiza reservorios de aguas lluvias para ser utilizadas en pocas de sequias, mediante sistema de recirculación de agua, minimizando los vertimiento a fuentes de aguas superficiales que puedan ejercer una presión sobre los mismos y reduciendo el volumen de agua utilizado en los procesos de producción. Las granjas con modelo de recirculación reciclan la mayor parte de su agua, consumen mucho menos agua que otros tipos de sistemas de cultivo, por lo cual son especialmente adecuados para áreas con reservas de agua limitadas. Para la cría de peces se necesita una cantidad de agua adecuada y como regla general, el volumen mínimo es de uno a cinco galones por cada libra de pez y un flujo mínimo de agua nueva de 20 galones por minuto para la cría de 50,000 - 75,000 libras de pescado anual.

Aunque en Colombia se vienen implementado las tecnologías ya mencionadas, hace falta que se implementen a mayor escala, especialmente en los centros de producción piscícola que producen en grandes cantidades, de tal forma que se reduzcan los impactos que se puedan ocasionar tanto a la calidad del agua como a los ecosistemas circundantes. Para que haya una mayor eficiencia en el uso, aprovechamiento y ahorro del agua, como también el cuidado y conservación de los recursos que directamente tienen relación con la producción de este sector de la economía.

Estas tecnologías representan una manera excitante, ecológica y exclusiva para el cultivo de peces. A diferencia del método tradicional de cultivo de peces en estanques abiertos al aire libre, las jaulas de red o tanques permiten la cría de peces en altas densidades poblacionales, dentro de un ambiente de crianza controlable por el operador de la instalación.

8.2 Prácticas y métodos de producción piscícola implementados en La Estación Piscícola San José del Nus

La Estación Piscícola San José del Nus cuenta con un sistema de producción cerrado, donde ellos mismos, producen los, huevos y los alevines que se siembran para su venta y cría, lo que reduce un 99.9% de posibilidades que ingrese algún tipo de patógeno externo a la estación,

adicionalmente cuenta con pediluvios (zona de desinfección de zapatos) para todo el personal que ingresa a la estación para minimizar el ingreso de algún agente externo.

Por otro lado, se evidencio que la estación piscícola solo cuenta con una única fuente de abastecimiento, la cual en épocas de sequía reduce considerablemente su caudal, realizando un menor intercambio de agua de las unidades productivas y facilitando la sedimentación de los restos de alimento concentrado. Esta situación se comprobó en la visita de campo realizada en el mes de febrero, (temporada de sequía), donde se avisto afloramiento de algas rojas en el lago, como ya se ha mencionado anteriormente estas algas pueden favorecer un agotamiento de oxígeno en el agua donde se disponen los peces de cultivo. También se observó la presencia de peces fuera de las jaulas, esto facilita la migración de peces hacia la microcuenca de la quebrada la vega. La Resolución 2287 de 2015 en su párrafo segundo indica que se debe contar con un plan de contingencias que describan las acciones que se tomarán en el caso de un escape de peces.

8.3 Impactos de las prácticas de producción piscícola sobre calidad del agua, destacando los efectos sobre la biodiversidad acuática, y los ecosistemas circundantes, así como sus implicaciones para la salud humana y la sostenibilidad del sector.

Los resultados encontrados en esta revisión de la literatura arrojaron que uno de los principales impactos en la calidad del agua está relacionado directamente con las prácticas de alimentación y la elevación de los niveles de nitrógeno y fósforo, la composición y cantidad de alimento, así como la eficiencia en su uso por parte de los peces, factores determinantes en la magnitud de estos impactos. García y Hernández (2018) destacan que los sistemas de producción piscícola que no optimizan la alimentación tienden a tener una mayor liberación de estos nutrientes, excediendo la capacidad de asimilación del ecosistema y promoviendo la eutrofización, causa de la mayoría de los problemas de calidad del agua en los estanques acuícolas al crear una demanda de oxígeno y al liberar el amoníaco, un metabolito potencialmente tóxico, en el agua.

La demanda de oxígeno generada por las algas causantes de la autorización, tiende a presentar una reducción considerable de la oxigenación en el agua, lo que hará insostenible la vida acuática

y por ende, la muerte de la fauna y flora pertenecientes a los ecosistemas acuáticos. De igual manera los cambios drásticos en la calidad de agua darán lugar al crecimiento de patógenos, enfermedades, virus y/o bacterias en los peces por las condiciones del agua donde se encuentran.

Lo anteriormente mencionado da lugar al uso de sustancias químicas para el control de enfermedades, el uso indiscriminado de estas sustancias puede ocasionar efectos en la salud humana como también una inmuno resistencia a las vacunas y antimicrobianos afectando la sostenibilidad del sector.

Según el análisis y la comparación realizada al sector piscícola durante los dos últimos años y el primer semestre del presente año, se logró evidenciar una reducción considerable en los niveles de producción, en el departamento del Huila, quien ha venido siendo el departamento pionero en producción piscícola, este venía con una secuencia de productividad estable, manteniéndose en un porcentaje de producción del 39% sobre el total producido nacional, en los años 2022 y 2023, pero para el primer semestre del año 2024, redujo un 2% de su producción, pasando a un 37% de representatividad, esto puede asociarse a la presencia de la bacteria *streptococcus agalactiae* en el departamento en el año 2023. Esta eventualidad de cierta forma pudo tener relación directa con la alimentación no racionalizada que pudo ser sedimentada en el fondo de los estanques, aumentando los niveles de materia orgánica y favoreciendo un crecimiento vegetal, que a su vez genera alta demanda consumo de oxígeno, reduciendo el oxígeno disponible para los peces; la falta de oxígeno es un indicador que facilita el estrés en los cultivos y debilita su sistema inmunológico, haciéndolos susceptibles a la afectación frente al ingreso de cualquier patógeno u agente extraño al medio.

También se evidencio que en el departamento de Antioquia no hubo presencia de la bacteria *Streptococcus Agalactiae*, esto puede dar respuesta a que gran parte de los alevinos de siembra son proveniente de la estación piscícola san José del Nus, donde el ciclo de producción es cerrado, no ingresa ninguna semilla externa, por lo que se reduce el riesgo de presencia para algún agente patógeno que posteriormente pueda ser distribuido a los demás centros de producción.

8.4 Calidad fisicoquímica, biológica y otros posibles contaminantes presentes en el agua de La Estación Piscícola San José del Nus ad del agua en La Estación Piscícola San José del Nus, mediante parámetros fisicoquímicos y biológicos, y la identificación de posibles contaminantes presentes en el agua.

Los resultados del análisis de la calidad del agua realizado en la estación piscícola san José del Nus, por los laboratorios GIGA Y G-LIMA muestran que los parámetros analizados en la descarga del lago de la Estación piscícola, , se analizaron bajo los requerimientos de la normativa nacional vigente: artículos 03, 05 y 15 de la Resolución 0631 de 2015 del MADS, en los cuales se determinan los niveles máximos permisibles para diferentes elementos, sustancias y compuestos químicos que deben ser cumplidos por las empresas cuyas actividades industriales son diferentes a las contempladas en los capítulos V y VI de la Resolución 0631 de 2015.

Los análisis de contaminación de agua realizados al agua en la captación arroyo, que existe un grado de contaminación media por materia orgánica, en el agua que ingresa a las unidades de producción, esto deja en evidencia que aguas arriba de La estación Piscícola se desarrollan actividades antropogénicas que generan vertimientos al afluente y que se está evidenciando en la calidad de agua que continua con su recorrido sobre la subcuenca. El éxito de los procesos de producción piscícola radica considerablemente sobre la calidad del agua que ingresa a los cultivos, este nivel medio de materia orgánica presente en el agua, sumado a la alimentación concentrada que se vierte en el agua para consumo de los peces y que tienden a generar trazas, más los desechos fecales provenientes de los cultivos pueden favorecer el crecimiento de algas, mayoritariamente en épocas de sequía, esto considerando que si las concentraciones de carga contaminante vertida aguas arriba permanecen constantes al reducir el caudal de la fuente las concentraciones de materia orgánica tenderán a aumentar y por ende la materia orgánica que ingresa al cultivo, teniendo en cuenta que la quebrada la vega es la única fuente de abastecimiento con la que cuenta la estación san José del Nus.

No se registró una variación significativa de la temperatura en los vertimientos, los valores fueron muy similares en rangos entre 24,0 a 26,4°C. Para los cuatros vertimientos en el año 2019, la variación de los vertimientos en el año 2021 oscilo entre 22.6 y24.1°C, así mismo para el año

2022 donde los vertimientos estuvieron entre 24.0°C y 25.3°C respectivamente, el promedio más alto 26.8°C se presentó en el año 2023 en la descarga del lago, aun así, la variación sigue siendo poco relevante. De acuerdo a estos resultados obtenidos para el parámetro temperatura, los vertimientos cumplen con los criterios establecidos en el artículo 05 de la Resolución 0631 de 2015, al presentar valores inferiores a 40°C.

El comportamiento de los caudales descargados a la quebrada la vega proveniente de las cuatro unidades de producción, se observa que el mayor vertimiento lo aporta la descarga del lago con caudales entre 40,5 a 47,7 L/s, seguido del estanque de tierra con caudales entre 5,9 a 21,6 L/s, mientras que la descarga estanque de producción presentó descargas entre 7,8 a 16,4 L/s. finalmente, la descarga estanque de investigación presentó las menores descargas entre 0,2 y 1,0 L/s

Las concentraciones de DBO₅ en las descargas provenientes de los estanques de tierra oscila entre 4,13 y 5,41 es correspondiente a una carga contaminante de 5 kg/día, la descarga del estanque de investigación, presento tuvo una concentración de DBO₅ menor al límite de cuantificación del método de análisis, la descarga del estanque de producción presento una concentración que osciló entre 6,12 mg/L y 6,49 correspondiente a una carga contaminante de 7,90 kg/día y por último la descargas del lago tuvieron una concentración menor al límite de cuantificación del método de análisis, que tiene un valor de 4,00 mg/L O₂ en los años 2019, 2021 y 2022 exceptuando el año 2023 donde presentó una concentración de DBO₅ de 5,41 mg/L, el cual es correspondiente a una carga contaminante de 5,27 kg/día. El artículo 15 de la Resolución 0631 de 2015 del MADS establece para la DBO₅ un valor máximo de 50 mg/L O₂, por lo tanto, los vertimientos cumplen con lo estipulado en la normativa.

Las concentraciones de DQO en la descargas de las cuatro unidades de producción ubicadas en la estación piscícola san José del Nus, conformados por estaques de tierra, estanques de investigación, estanques de producción y lago, cumplieron con los niveles adecuados de vertimiento según los estipulado en el artículo 15 de la resolución 0631 de 2015, siendo 22,4 mg/L O₂ la mayor concentración evidenciada en los estanques de tierra durante los cuatro años analizados, así mismo para los estanques de investigación donde las concentraciones máximas

fueron de 22,4 mg/L O₂ correspondiente a una carga de 25,8 kg/día, por consiguiente encontramos los estanques de producción donde 24,7 mg/L O₂ fue la concentración máxima evidenciada, correspondiente al año 2021 y por último, las concentraciones del lago donde se presentó valores por debajo del límite de cuantificación a excepción del año 2022 donde las concentraciones fueron de 17,8 mg/L O₂, correspondiente a una carga de 71,5 kg/día.

La concentración de los SST en las descargas provenientes de los estanques de tierra presentó valores entre 6 mg/L y 20.0 mg/L, presentando el menor valor en el año 2023 y el mayor en 2022, correspondiente a una carga contaminante de 5,84 kg/día y 18,4 kg/día respectivamente, en las descargas provenientes de los estanques de investigación solo se alcanzó a medir en el año 2022 la cual arrojó la concentración de 13,0 mg/L correspondiente a una carga contaminante de 0,400 kg/día, en los otros años hubo un valor menor al límite de cuantificación, lo que indica valores muy bajos de concentración,

La descarga del estanque de producción presentó un valor de 13 mg/L SST, correspondiente a una carga contaminante de 18,9 kg/día en 2019, un valor de 19 mg/L, correspondientes a una carga contaminante de 21,2 kg/día en 2021, un valor de 56 mg/L, correspondientes a una carga contaminante de 68,1 kg/L en 2022 y valor de 10 mg/L, correspondientes a una carga contaminante de 9,95 kg/día en 2023.

Los SST en la descarga del lago, presentaron un valor menor al límite de cuantificación del método de análisis lo que indica que los valores han sido bajos por lo que no se alcanza a cuantificar los niveles de SST en el agua.

La Resolución 0631 de 2015 en el artículo 15 establece un valor límite permisible de 50 mg/L, esta situación indica que las descargas de los estanques de tierra, estanques de investigación y lago cumplen con la norma y se presenta incumplimiento en la descarga de los estanques de producción.

Estos resultados pudieron haberse presentado en relación a las precipitaciones a las que se da lugar en la zona donde se ubica la estación piscícola, debido al arrastre de sólidos y al mayor flujo de agua que ingresa al lago, que por su alto flujo de caudal remueve los sólidos sedimentados y el alimento dispuesto para los peces.

En el año 2019, la concentración de las grasas y aceites en la descarga del estanque de tierra, presentó un valor 12 mg/L G y A, correspondientes a una carga contaminante de 13,8 kg/día; La concentración de las grasas y aceites en la descarga del estanque de producción, presentó un valor de 13,0 mg/L G y A, correspondientes a una carga contaminante de 18,9 kg/día; La concentración de las grasas y aceites en la descarga del lago de la Estación piscícola San José del Nus, presentó un valor de 12 mg/L G y A, correspondientes a una carga contaminante de 48,2 kg/día.

El artículo 15 de la Resolución 0631 de 2015 del MADS establece un valor límite permisible de 10,0 mg/L, situación que indica el incumplimiento de la norma, para estas tres descargas de las unidades de producción.

Esta situación pudo darse lugar en la sala de procesos, donde se llevan a cabo las actividades de descame, eviscerado y lavado de los peces y que de alguna forma u otra genero infiltración o arrastre hasta las unidades de producción, por medio de los canales de conducción de aguas residuales.

En 202, los análisis realizados mostraron que la concentración de las grasas y aceites en la descarga de las cuatro unidades de producción, (estanques de tierra, estanques de investigación, estanques de producción, y lago) presentaron una concentración menor al límite de cuantificación del método de análisis, que tiene un valor de 8,0 mg/L, por lo tanto, la descarga cumple con lo establecido en la normativa para dicho parámetro.

En el año 2022 La concentración de las grasas y aceites en la descarga del estanque de tierra presentó una concentración menor al límite de cuantificación del método de análisis, que tiene un valor de 8,0 mg/L, correspondiente a una carga contaminante menor a 7,42 kg/día, así mismo se dio para las tres unidades restantes de producción, estanques de investigación, estanques de

producción y lago, por lo tanto, la descarga cumple con lo establecido en la Resolución 0631 de 2015 la cual establece un valor límite permisible de 10,0 mg/L. Para finalizar en el año 2023 se presentó la misma situación que el año 2022 en el cual los análisis realizados a los vertimientos mostraron concentraciones menores al límite de cuantificación.

9 Discusión

Este trabajo resalta la importancia que tiene la calidad del agua sobre los procesos piscícolas, incluyendo las prácticas de alimentación, el monitoreo y análisis de parámetros fisicoquímicos del agua, y la implementación de una adecuada y racionalizada alimentación en los peces, tal como lo menciona (Lall & Tibbetts, 2009) Una distribución adecuada del alimento logra una eficiencia alimenticia. Adicionalmente se requiere el monitoreo constante de los comportamientos de los peces frente a la alimentación suministrada, debido a que este es un indicador de las condiciones en que se encuentran los peces, por ejemplo, la falta de apetito o interés por el alimento puede asimilarse con niveles de estrés, causado por alguna eventualidad no deseada en el área de cultivo.

También Elizabeth Burbano (2018) en su proyecto de investigación de maestría, de la Universidad Nacional donde cita a (Eley et al., 1972) afirman que el nivel de contaminación ambiental que causa la acuicultura está directamente relacionado con el sistema de producción de cultivo (extensivo, semintensivo e intensivo). Cuando más se intensifica el sistema, mayor cantidad de insumos y materias primas son utilizados. Por ejemplo: El alimento comercial deja residuos, la cual una parte no es consumida y se degrada en la columna del agua produciendo sedimentos. También se producen residuos por la acumulación de las excretas de los peces, resultado del alimento consumido y metabolizado.

Previamente se expuso que la calidad del agua donde habitan los peces es el factor más determinante para la calidad tanto microbiológica como fisicoquímica del producto final para consumo, y la implementación de acciones o tecnologías que facilitan el esfuerzo del talento humano, debido a que el control que se debe ejercer sobre los sistemas productivos piscícolas debe ser frecuente. Exposición que concuerda con Silva et al. (2022) , quienes reconocen los sistemas de recirculación acuícola como herramientas potenciales que favorecen la reducción de carga de nutrientes y residuos, así mismo se agregan otros sistemas prometedores como In Pond Raceways System y biofloc, que permiten la búsqueda de un desarrollo sostenible, facilitando una seguridad alimentaria bajo la producción intensiva de peces para comercialización bajo unos

niveles de control de calidad del agua y minimización de impactos en fuentes hídricas por minimización de recambio de agua limpia y vertimiento de aguas residuales con carga orgánica.

Por otro lado, las prácticas de producción ejecutadas en La Estación Piscícola San José de Nus están sometidas a los volúmenes de agua con los que cuente la quebrada La Vega, como única fuente de abastecimiento de las unidades productivas, Morales, 2018 señala que la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, ha permitido beneficios en la reutilización y aprovechamiento del recurso, así mismo se reducen las presiones ejercidas sobre los cuerpos de agua generados por la captación de agua de los lecho original y minimizando los impactos en la calidad de agua generada por vertimiento de aguas de producción.

Por otro lado, aunque en la estación piscícola san José del Nús no se han presentado patógenos como la bacteria *Streptococcus agalactiae*, Gracias a su ciclo de producción cerrado, donde ellos mismos reproducen los peces para encubar los huevos, eliminando la alternativa de ingresar semillas a la estación provenientes de otras piscifactorías cabe resaltar que esta bacteria dejó grandes pérdidas de especies de cultivo en diferentes departamentos de Colombia. La especialista en acuicultura y consultor sénior de SIGHTLINE SYSTEM, Laura Toro, mencionó que es difícil determinar con certeza que esta situación se pudo haber prevenido; No obstante, se es necesario un seguimiento permanente a los parámetros de calidad del agua, debido a que los agentes patógenos son influenciados por una mala práctica en la producción o medidas de seguridad poco rigurosas a la hora de realizar el ingreso de especímenes a las áreas productivas, las semillas de peces para siembra provenientes de una unidad de producción diferente a donde se pretende sembrar, hace necesaria que se someta a una cuarentena previa antes de su introducción a la áreas de cultivo local, adicionalmente, se debe mantener mediciones de calidad de agua frecuentemente, en el lapso de un mes o un año, muchas eventualidades pueden pasar, más aun cuando no se realiza ningún tipo de control en el agua que ingresa a los cultivos,

También se resalta la importancia de medir los parámetros de calidad de agua, especialmente haciendo énfasis en el oxígeno disuelto y la temperatura, estudios anteriormente realizados muestran que la exposición de peces a temperaturas bajas generara que los peces pierdan el

apetito o cesen la ingesta de alimentos (FAO, 1987) Por el contrario, si aumenta la temperatura disminuirán los niveles de oxígeno disuelto en agua generando una depresión metabólica lo que se traduce en situaciones de estrés para los animales, deterioro de la calidad del agua y en general traerán pérdidas económicas para el productor. Por otro lado, la DBO y la DQO determinan la cantidad de materia orgánica putrescibles que se encuentran presentes en el agua contaminada, según lo aseguran Rafo y Ruiz (2014). por lo anterior se puede explicar que la materia orgánica presente en el agua se asocia al grado de contaminación del sistema productivo y, por ende, mayor cantidad de oxígeno necesitan los microorganismos para oxidar o degradar los residuos orgánicos provocando así, altos valores de DBO₅ y DQO con respecto a los puntos de control.

Así mismo se debe optar por la implementación de una responsabilidad social empresarial, en pro de mantener un equilibrio con los recursos ambientales y comunidades que se puedan servir de las fuentes previo al uso en las actividades piscícolas.

10 Conclusiones

Con base en la información y los argumentos presentados se concluye que las inadecuadas prácticas de piscicultura como la alimentación, las heces y el uso de sustancias químicas para el control de patógenos inciden directamente en el estado y calidad del agua, colocando en riesgo los ecosistemas acuáticos, la sostenibilidad de los cultivos en mención y la salud ambiental.

El principal insumo para la producción piscícola es el agua, por lo que el intercambio constante de agua es un requerimiento para garantizar las adecuadas condiciones de calidad en los cultivos, de igual forma el cuidado y la preservación de los caudales ecológicos de las fuentes de abastecimiento es un factor fundamental para los productores de piscicultura. Así mismo, dentro de la esfera de la responsabilidad social empresarial, está incluida la responsabilidad ambiental, y dentro de esta, las empresas están en la obligación de contribuir al mejoramiento ambiental más allá del solo cumplimiento de las normas vigentes, pues se reconoce que la responsabilidad social empresarial comprende un conjunto de prácticas, estrategias y sistemas de gestión empresariales que persiguen un nuevo equilibrio entre las dimensiones económica, social y ambiental. En otras palabras, la responsabilidad social empresarial debe asumirse como un sistema de gestión basado en una ética de la responsabilidad hacia los diferentes elementos y actores constituyentes del entorno ambiental, por lo anterior las entidades productoras de piscicultura pueden optar por implementar nuevas tecnologías para el manejo de agua, reduciendo así la demanda de agua requerida y los vertimientos de aguas residuales.

Se resalta la importancia de implementar prácticas de manejo sostenible en la producción piscícola, como la optimización de la alimentación y el monitoreo constante de los parámetros de calidad del agua. Las estrategias de mitigación propuestas incluyen el uso de alimentos con mayor eficiencia de conversión y la implementación de sistemas de recirculación de agua para reducir la carga de nutrientes vertidos en los ecosistemas naturales. Estas prácticas no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental, sino que también pueden mejorar la rentabilidad de las operaciones piscícolas al reducir el desperdicio de recursos y mejorar la salud y el crecimiento de los peces.

Por otro lado, como conclusiones de los impactos de la producción piscícola podemos mencionar que la causa primaria de riesgo para la salud ambiental y humana es la calidad del agua con la cual se desarrolla la actividad piscícola. Esta actividad en escala intensiva produce contaminantes prioritarios como hormonas y antibióticos cuya descarga en el ambiente aún en cantidades traza puede tener efectos crónicos en la salud, el programa de buenas prácticas de manejo del sector y con enfoque preventivo se deben implementar estrategias de reducción, eliminación o sustitución de estos insumos químicos.

Con base a lo ya expuesto se evidencia una vez más el principio que fundamenta la concepción de ECOSALUD, si el ecosistema está enfermo o contaminado en igual condición estarán los seres vivos que lo habitan. Por lo tanto, mientras no reduzcamos efectivamente la contaminación ambiental siempre existirá un riesgo potencial para la salud de grupos humanos con inequidad por diferentes causas de este modo, debemos aplicar el principio de precaución y la prevención del riesgo. En los años 2019 y el año 2022 la estación piscícola san José del Nús excedió los límites máximos permisibles para aceites y grasas y para sólidos suspendidos totales Por lo tanto, para prevenir los riesgos potenciales en salud ambiental asociados con contaminantes prioritarios propios del sector piscícola se debe trabajar bajo los principios de la producción limpia, y las buenas prácticas de manufactura, lo deseable será la reducción, eliminación o sustitución de estos agentes químicos por otros productos amigables con el ambiente, por ejemplo, los prebióticos.

Por último se concluye que dentro de las técnicas de producción desempeñadas en la estación piscícola, se hace necesario la implementación de algún sistema que facilite la optimización del recurso hídrico en épocas de sequía, minimizando los posibles riesgos de desabastecimiento de la quebrada La Vega, la cual reduce considerablemente su caudal en estas épocas, poniendo el riesgo la preservación del caudal ecológico o caudal ambiental de la quebrada La Vega. De acuerdo con lo establecido en el artículo 2.2.3.3.1.3 del Decreto 1076 de 2015 el caudal ambiental es el “Volumen de agua por unidad de tiempo, en términos de régimen y calidad, requerido para mantener el funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas acuáticos y su provisión de servicios ecosistémicos”

11 Recomendaciones

- A nivel nacional se recomienda la implementación de buenas prácticas de manejo en los procesos productivos, racionalización de la alimentación, para prevenir la saturación de los cuerpos de agua con nutrientes. También hacer uso de vacunas y sustancias químicas requeridas en el control de enfermedades solamente como medidas correctivas y nunca como medida preventiva para no generar inmunoresistencia a los mismos.
- Así mismo se recomienda empezar a hacer uso de nuevas tecnologías en las unidades productivas acuícolas de Colombia como el sistema In Pond Raceways System, ya que muestra un panorama productivo y prometedor para el campo, ya que ofrece un sistema de cultivo sostenible ambientalmente ya que esta tecnología con una gestión adecuada no requiere intercambio de agua para mejorar la calidad del agua, esta solo se agrega para compensar la pérdida o filtración por evaporación según Arana et al, 2017. Por otro lado, se encuentra los sistemas de producción biofloc el cual tiene mayores capacidades productivas, donde los flóculos fueron una fuente de alimento para los peces disminuyendo así el uso de alimento comercial para la alimentación.
- En Colombia se recomienda que las granjas piscícolas que compran semillas de peces realicen un exhaustivo control frente al ingreso de larvas y alevines provenientes de otros centros de producción para ser sembrados, debido a la alta posibilidad de patógenos, como hongos, virus y bacterias que pueden traer consigo y afectar considerablemente la sostenibilidad de los cultivos.
- El monitoreo de la calidad del agua es un requisito fundamental para darle sostenibilidad al cultivo y para mantener el cuidado del medio ambiente, por lo que será indispensable que el piscicultor establezca un programa de monitoreo de los principales parámetros

fisicoquímicos y biológicos del estanque. La piscicultura colombiana tiene que trabajar en lo sanitario.

- En cuanto a la estación piscícola san José del Nús se recomienda continuar realizando el proceso de producción de peces, desde su fase inicial, manteniendo su ciclo cerrado, evitando el ingreso de agentes externos a la producción. También incluir dentro de sus procesos productivos alguna tecnología que permitan la optimización del recurso hídrico y favorezca la protección y sostenibilidad ambiental, mayoritariamente teniendo en cuenta que la única fuente que logra abastecer la estación piscícola reduce considerablemente su caudal en temporada seca, esto trayendo a colación el hecho de que en la salida de campo realizada a la estación piscícola en el mes de febrero se evidencio poco caudal de La Quebrada La vega, y por ende, poco ingreso de agua a las unidades productivas, esto dificulta el recambio de agua necesario y facilitando el crecimiento de algas, tal como se evidencio en la ya mencionada salida de campo.
- En la Estación Piscícola se recomienda incluir el ICOTRO - Índice de Contaminación Trófica dentro de los análisis de agua realizados por el laboratorio GIGA, donde se analizan Índices de Contaminación, aprovechando el disco Secchi con el que cuenta la estación y que es poco utilizado. También implementar alguna tecnología que permita la optimización del recurso hídrico y favorezca la protección y sostenibilidad ambiental, mayoritariamente teniendo en cuenta que la única fuente que logra abastecer la estación piscícola reduce considerablemente su caudal en temporada seca.
- En el análisis de informes reportados por los laboratorios GLIMA y LabGIGA se evidencia que los muestreos se han realizado en los meses de octubre y noviembre, (La temporada seca se extiende de diciembre a abril, en estos meses llueve menos de 5 días al mes, en cambio en los meses de mayo a noviembre las lluvias son más frecuentes y en promedio llueve entre 10 y 15 días por mes) por lo que se recomienda realizar muestreos también en temporada seca, debido a que las concentraciones de contaminantes aumenta cuando el caudal de la fuente receptora se reduce.

12 Referencias

- Agudelo, L., Guerra, A., Pérez-García, J., & Vacares, F., (2023). Estatus sanitario en pequeños sistemas productivos piscícolas de tilapia en el municipio de San Carlos, Antioquia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num2_art:2776
- Álvarez, D. O. (2021). Filtración - Concepto, tipos de filtración y ejemplos. *Concepto*. <https://concepto.de/filtracion/#ixzz8erl3jrOQ>.
- Álvarez-Torres, P., Soto, F., Avilés Quevedo, S., Díaz Luna, C., & Treviño Carrillo, L. m. (2019). Panorama de la investigación y su repercusión sobre la producción acuícola en México. *Avances En Nutrición Acuícola*. Recuperado a partir de <https://nutricionacuicola.uanl.mx/index.php/acu/article/view/321>
- Amaro, P (2012). Problemática Ambiental de la Actividad Piscícola en el Estado de Hidalgo, México. [Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, México]. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46725267007.pdf>
- Arana E, Canseco R, Martínez G, Amézquita J. (2020) Evaluating commercial, intensive production of Nile tilapia in IPRS. Global seafood Alliance. Disponible en: <https://www.globalseafood.org/advocate/evaluating-commercial-intensiveproduction-of-nile-tilapia-in-iprs/>
- Bioaquafloc. (2024). In pond raceway system (IPRS), un sistema acuícola hiper intensivo. <https://www.bioaquafloc.com/in-pond-raceway-system-iprs-un-sistema-acuicola-hiper-intensivo/>
- Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos; Baptista Lucio, Pilar. (2010). Metodología de la investigación, *Revista Docencia Universitaria*, 11, <https://biblat.unam.mx/pt/revista/revista-docencia-universitaria/articulo/hernandez-sampieri-roberto-fernandez-collado-carlos-baptista-lucio-pilar-metodologia-de-la-investigacion-5a-ed-mexico-mc-graw-hill-2010>

- Burbano, E (2018). Influencia de cultivos piscícolas en la calidad del agua y comunidades bacterianas en el sedimento del lago Guamuez. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (s. f.). Calidad de agua en piscicultura. [https://library.co/article/calidad-agua-piscicultura-instituto-nacional-technolog%C3%ADa-agropecuaria.qo5m7r2k](https://library.co/article/calidad-agua-piscicultura-instituto-nacional-tecnolog%C3%ADa-agropecuaria.qo5m7r2k)
- Conci, E., Civit, B. M., Becker, A. R., & Arena, A. P. (2020). La Eutrofización acuática y terrestre como categorías de impacto regional. *AJEA*, 5. <https://doi.org/10.33414/ajea.5.643.2020>
- Cuéllar-Anjel, J. (2017). Manual de buenas prácticas piscícolas. www.academia.edu. https://www.academia.edu/38201870/Manual_de_buenas_pr%C3%A1cticas_pisc%C3%ADcolas
- Cuéllar-Anjel, J. (2018). Manual de Buenas Prácticas de Manejo para la Piscicultura en Agua Dulce. www.academia.edu. https://www.academia.edu/35667299/Manual_de_Buenas_Pr%C3%A1cticas_de_Manejo_para_la_Piscicultura_en_Agua_Dulce.
- Decreto 1076 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Decreto 2811. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
- Decreto 703 de 2018. Ajustes al Decreto 1076 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y se dictan otras disposiciones".
- Gobernación de Huila. (2018). Sistema de monitoreo para piscicultura en embalse de Betania continuará en funcionamiento. <https://www.huila.gov.co/publicaciones/8328/sistema-de-monitoreo-para-piscicultura-en-embalse-de-betania-continuara-en-funcionamiento/>

- ESPEJO, C. (1997). La piscicultura en Colombia, tecnología de punta en el departamento del Valle del Cauca IV Simposio Centroamericano de Acuicultura. Tegucigalpa, Honduras.
- FAO. (2022). El estado mundial de la pesca. Organización de las naciones unidas para la agricultura y pesca. Disponible en: <https://www.fao.org/3/cc0461es/online/cc0461es.html>
- Faria et al (2021). No solo de tilapia vive el hombre: un pez exótico invade las aguas y las mesas de los brasileños. *Bioika*, Ed. 7. <https://revistabioika.org/es/el-lector-escribe/post?id=114>
- FEDEACUA. (2014). Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia. <https://fedecua.org/files/plan-nacional-para-el-desarrollo-de-la-acuicultura-sostenible-colombia.pdf>
- García B, (2017). Implementación de buenas prácticas de manejo, para los piscicultores de Cocorná, Antioquia, para una actividad sostenible. [Tarabajo De grado, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10634>
- González Salas, Raúl & Romero, Oscar & Valdivie, Manuel & Ponce-Palafox, Jesus T. (2014). Los productos y subproductos vegetales, animales y agroindustriales: Una alternativa para la alimentación de la tilapia. *Bio ciencias*. 260894463_Los_productos_y_subproductos_vegetales_animales_y_agroindustriales_Una alternativa para la alimentacion de la tilapia
- IDEAM (2024). Índices de calidad del agua. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>
- Piscicultura: ¿Cuáles son las necesidades nutricionales en cada etapa? BRF. (2019) *Ingredients*. <https://www.brfindredients.com/es/blog/posts/cual-es-la-importancia-de-conocer-a-fondo-cada-etapa-de-la-piscicultura/>
- Instituto del Agua. s.f. Calidad del Agua en Piscicultura: Clave para una Producción de Peces Exitosa y Sustentable <https://institutodelagua.es/acuicultura/calidad-del-agua-en-pisciculturacalidad-del-agua/>

- Italcol. (2020). MANEJO - Calidad de agua en la piscicultura moderna: manejo de fondos, alcalinidad y biorremediación [Archivo de Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=jrefAS_XBRU.
- Jaramillo-García, D. F., Rodríguez-Sosa, N., Salazar-Salazar, M., Hurtado-Montaña, C. A., & Rondón-Lagos, M. (2020). Contaminación del Lago de Tota y Modelos Biológicos para estudios de Genotoxicidad. *Ciencia En Desarrollo*, 11(2), 65-83. <https://doi.org/10.19053/01217488.v11.n2.2020.11467>.
- La Finca de Hoy. (2017). *Reutilización del agua en la piscicultura. La Finca de Hoy* [Archivo de Vídeo]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=pZ9iT_WJ37w
- La Finca de Hoy. (2018, 16 julio). Modelos de recirculación de agua para la piscicultura | La Finca de Hoy [Archivo de Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=DzINnOdEtA0>
- Labconco. (s. f.). Introducción a la Liofilización. <https://www.labconco.com/articulos/introduccion-a-la-liofilizacion>
- Manual de Gestión del Recurso Hídrico. (2016). COORANTIOQUIA. <https://www.corantioquia.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/Pisicola.pdf>
- Pictures, D. W. M. (2023). La comunidad científica estima que al menos el 50 por ciento de la producción de oxígeno de la Tierra procede del océano, y una gran mayoría del fitoplancton. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/plancton>
- Hanna Instruments. (s. f.). Piscicultores de Colombia comienzan a mejorar prácticas de bioseguridad, Productos para Acuicultura. <https://hannacolombia.com/aqua/blog/item/piscicultores-de-colombia-comienzan-mejorar-practicas-de-bioseguridad>.
- Posmitnaya, V. (2019). Benthic algae. *Polarpedia*. <https://polarpedia.eu/en/benthic-algae/>
- Caracol Radio. (2023). Niveles críticos del Embalse de Betania amenazan la producción piscícola del Huila. <https://caracol.com.co/2023/10/12/niveles-criticos-del-embalse-de-betania-amenazan-la-produccion-piscicola-del-huila/>

- Raffo Lecca y Ruíz Lizama. (2014) Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. https://www.researchgate.net/publication/307181622_Caracterizacion_de_las_aguas_residuales_y_la_demanda_bioquimica_de_oxigeno
- Ramírez, A., Restrepo, R. y Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5587866>
- Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo. (2023) Protocolo de Monitoreo de Agua. https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/Protocolo_Agua.pdf
- Sharma, K., & Garg, V. K. (2018). Solid-State Fermentation for Vermicomposting. En *Elsevier eBooks* (pp. 373-413). <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63990-5.00017-7>
- Solano, J. (2023). Especie nativa, especie endémica y ejemplos. *Concepto*. <https://concepto.de/especie-nativa/#ixzz8erP5BIxM>
- Subsecretaría de pesca y acuicultura (2023). Informe sectorial de pesca y acuicultura. https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-118321_documento.pdf
- Tang, K. L., Caffrey, N. P., Nóbrega, D. B., Cork, S. C., Ronksley, P. E., Barkema, H. W., Polachek, A. J., Ganshorn, H., Sharma, N., Kellner, J. D., & Ghali, W. A. (s. f.). Definitions for terms used in the classification scheme for interventions - WHO Guidelines on Use of Medically Important Antimicrobials in Food-Producing Animals - NCBI Bookshelf. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK487950/table/annexa_1.3.t1/
- Toro, D. (2023). Determinación De La Calidad Del Agua Mediante Indicadores Biológicos y Físicoquímicos, en La Estación Piscícola. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 13(2), 89–105. www.academia.edu. https://www.academia.edu/102937856/Determinaci%C3%B3n_De_La_Calidad_Del_Agua_Mediante_Indicadores_Biol%C3%B3gicos_y_Fisicoqu%C3%ADmicos_en_La_Estaci%C3%B3n_Pisc%C3%ADcola_

- Torres E, & Espejo C. (2001). Cultivo de las tilapias roja (*Oreochromis spp.*) y plateada (*oreochromis niloticus*). Universidad surcolombiana. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19713>
- Universidad de Antioquia s.f. Estación piscícola san José del Nus. https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udearegiones/magdalenedio/!ut/p/z1/jZDBboJAEIafxQPHMsOuUPS2QUKwBlhSI86lWQgFEmXNQmt8e02bXhpLndtMvm9m8gNBAdSrZ65RY6d7dbj1e_LeEumGDgtwE6XSQmv8pynHmMJwu4L8BcBc8QcN_jiuChkmCWvaZCt1gzoER__KIGPRMATa_fAU2diHLG0hjHqJcJG7Go5jNn3AqQz2IN1Bx0R246EvuN0Cmfq9NbewPcxu343galhZaWGI7qJWpWvuiWq3tSh8tvOe1ehihuIPD6bjdFtjFT1RezmI2uwLTj0uq/?1dmy&urile=wcm%3apath%3a/PortalUdeA/asPortalUdeA/asHomeUdeA/UdeA+en+las+regiones/Puerto+Berrio/Contenido/asMenuLateral/estacion-piscicola
- Vidal et al., (2017). Manual de Prácticas de Manejo para la Piscicultura en Agua Dulce (edición 11). https://www.academia.edu/38201870/Manual_de_buenas_pr%C3%A1cticas_pisc%C3%ADcolas.
- Vivanco E, (2021) Regulación de antibióticos en la acuicultura https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32237/2/BCN_Regulacion_antibioticos_en_acuicultura_2021_FINAL.pdf
- Diario del Huila. (2022). El panorama piscícola, creciendo, pero con riesgos. <https://diariodelhuila.com/el-panorama-piscicola-creciendo-pero-con-riesgos/>
- Widanarni, Ekasari J, Maryam S. 2012 Evaluation of Biofloc Technology Application on Water Quality and Production Performance of Red Tilapia *Oreochromis sp.* Cultured at Different Stocking Densities. HAYATI Journal of Biosciences. 19 (2): Pages 73-80, ISSN 1978-3019.
- Zapata et al (2017) Cultivo de alevines de tilapia en sistema biofloc bajo diferentes relaciones carbono/nitrógeno. *Boletín instituto de pesca.* <https://www.pesca.sp.gov.br/boletim/index.php/bip/article/view/1214/1192>.