



**PROCOLO PARA LA PRODUCCIÓN DE PESCADO BAJO BUENAS PRÁCTICAS  
DE PRODUCCIÓN ACUÍCOLA (BPPA) EN VILLAVICENCIO Y MUNICIPIOS  
ALEDAÑOS, META**

Harold Casas Reina

Trabajo de grado de maestría presentado para optar al título de  
Magíster en Ciencias Naturales y Matemática

Asesor

Lina María Vélez Acosta, Magíster (MSc)

Universidad Pontificia Bolivariana  
Escuela de Ingenierías  
Maestría en Ciencias Naturales y Matemática  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2025

El contenido de este documento no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad.

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a las mujeres más importantes de mi vida:

A mi esposa, por su amor incondicional y apoyo constante.

A mi hija, mi mayor inspiración y motivación para seguir adelante.

Y a mi madre, por su ejemplo, su sacrificio y por enseñarme a no rendirme nunca.

Este logro también es de ustedes.

## **Agradecimientos**

Mi gratitud se dirige a todas las personas e instituciones que hicieron posible este logro:

A la Profesora Lina María, por su acompañamiento académico y sus valiosos consejos.

A Acuioriente (Asociación de Piscicultores de los Llanos Orientales) y a los piscicultores en general, por abrirme las puertas, compartir su experiencia y contribuir al desarrollo de un enfoque responsable y sostenible en la producción acuícola.

Y especialmente, a mi familia, por su apoyo, paciencia y aliento constante, que me permitieron avanzar con determinación hasta concluir este proyecto.

Tabla de contenido

Resumen .....	10
Abstract .....	11
1. Introducción .....	12
2. Justificación .....	15
3. Objetivos .....	19
3.1 Objetivo general .....	19
3.2 Objetivos específicos .....	19
4. Marco referencial .....	20
4.1 Marco conceptual y teórico .....	20
4.2 Marco normativo .....	23
5. Metodología .....	25
5.1 Criterios para el diagnóstico .....	25
5.2 Instrumentos de recolección de información.....	25
5.2.1 Lista de verificación normada .....	25
5.2.2 Matriz diagnóstica (rúbrica técnica) .....	26
5.2.3 Encuesta estructurada (40 preguntas) aplicada a 22 unidades piscícolas .....	26
5.2.4 Entrevistas semiestructuradas .....	26
5.2.5 Revisión documental (fuentes secundarias) .....	26
5.3 Procedimiento general .....	27
5.4 Contexto regional: pertinencia para el Meta y la Orinoquia .....	27
5.5 Análisis de la información y estadístico .....	28
6. Resultados y Discusión de resultados .....	30
6.1 Diagnóstico del estado actual de las unidades de producción acuícola .....	30
6.2 Análisis técnico por componentes BPPA .....	32
6.2.1 Manejo y calidad del agua .....	33
6.2.2 Alimentación y manejo nutricional .....	36
6.2.3 Bioseguridad, sanidad acuícola e infraestructura .....	38
6.2.4 Manejo de residuos y efluentes .....	40

---

6.2.5 Trazabilidad y registros productivos .....	41
6.2.6 Bienestar animal .....	43
6.3 Comparación con estándares técnicos .....	44
6.4 Triangulación y coherencia entre fuentes .....	46
6.5 Análisis crítico y principales brechas identificadas .....	46
6.6 Síntesis del diagnóstico y criterios para priorización de intervenciones .....	48
6.7 Análisis estadístico .....	49
6.8 Discusión sobre diagnóstico .....	55
6.9 Fortalezas y brechas del sistema regional .....	56
6.10 Implicaciones para el protocolo propuesto .....	58
7. Protocolo para la Producción de Pescado bajo (BPPA) en Villavicencio, Meta) .....	60
7.1 Contexto y Fundamentación del Protocolo .....	60
7.2 Estructura Técnica del Protocolo BPPA .....	61
7.3 Sistema de registros y trazabilidad BPPA .....	68
7.4 Procedimientos Operativos por Especie (Tilapia, Cachama y Bocachico) .....	68
7.5 Estructura Operativa del Protocolo BPPA .....	76
7.6 Sistema de Seguimiento y Verificación del Protocolo BPPA .....	82
7.7 Plan de Mejora Continua y Acciones Correctivas .....	84
7.8 Sistema de Capacitación y Fortalecimiento de Capacidades Técnicas .....	89
7.9 Evaluación de Impacto y Mejora Continua del Protocolo BPPA .....	94
7.10 Gestión Documental y Trazabilidad Digital del Protocolo BPPA .....	97
8. Sostenibilidad del Sistema .....	101
8.1 Enfoque ambiental de sostenibilidad .....	101
8.2 Enfoque productivo y eficiencia en el uso de recursos .....	101
8.3 Bienestar animal y bioseguridad .....	102
8.4 Dimensión socioeconómica .....	102
8.5 Evaluación de riesgos y mejora continua .....	103
8.6 Limitaciones del estudio y alcance de los resultados .....	103
9. Conclusión .....	105

---

9.1 Hallazgos empíricos derivados del diagnóstico .....	105
9.2 Proyección y alcance del Protocolo BPPA .....	106
10. Recomendaciones .....	107
10.1 Recomendaciones Ambientales .....	107
10.2 Recomendaciones Productivas y Zootécnicas .....	108
10.3 Recomendaciones Operativas, de Gestión y Socio-Económicas .....	108
10.4 Recomendaciones para la sostenibilidad y competitividad a mediano-largo plazo .....	109
11. Referencias .....	111
12. Anexos .....	121

**Lista de tablas**

Tabla 1. Caracterización general del establecimiento piscícola .....	31
Tabla 2. Comparación entre cumplimiento observado y estándares BPPA (resumen). .....	45
Tabla 3. Estadísticos descriptivos del cumplimiento por componente BPPA en 22 unidades de producción acuícola. ....	51
Tabla 4. Matriz de correlación de Spearman ( $\rho$ ) entre componentes BPPA. ....	53
Tabla 5. Sistema de registros propuesto para la adopción de BPPA en unidades piscícolas. ....	68
Tabla 6. Programa técnico de monitoreo de calidad del agua para sistemas acuícolas en clima cálido. ....	75
Tabla 7. Estructura operativa del protocolo. ....	78
Tabla 8. Indicadores de Desempeño Global. ....	81
Tabla 9. Categorías estandarizadas. ....	84
Tabla 10. Fases operativas del Plan de Mejora Continua. ....	86
Tabla 11. Indicadores de mejora del Plan de Mejora Continua. ....	87
Tabla 12. Acciones correctivas por componente BPPA. ....	88
Tabla 13. Módulos temáticos del programa de capacitación BPPA. ....	91
Tabla 14. Criterios de evaluación del aprendizaje BPPA. ....	92
Tabla 15. Plan anual de actualización del protocolo BPPA. ....	94
Tabla 16. Indicadores de evaluación del impacto del Protocolo BPPA. ....	95
Tabla 17. Comparativo de resultados antes y después de la implementación del Protocolo BPPA. ....	96
Tabla 18. Estructura documental del Protocolo BPPA. ....	98
Tabla 19. Indicadores de desempeño del sistema de trazabilidad digital BPPA. ....	100

**Lista de figuras**

Figura 1. Cumplimiento de (BPPA) por componente técnico en unidades piscícolas del Meta ...33

Figura 2A. Frecuencia de monitoreo de parámetros de calidad del agua ..... 35

Figura 2B. Condiciones técnicas del monitoreo de calidad del agua ..... 35

Figura 3A. Uso de alimento comercial ..... 36

Figura 3B. Control técnico de la alimentación ..... 37

Figura 4. Cumplimiento de prácticas de bioseguridad en unidades piscícolas del Meta ..... 40

Figura 5. Nivel de cumplimiento de trazabilidad y gestión de registros en unidades piscícolas del Meta. .... 42

Figura 6. Cumplimiento promedio de BPPA por componente. .... 52

Figura 7. Mapa de calor de correlaciones Spearman ( $\rho$ ) entre componentes de las BPPA en 22 unidades piscícolas del Meta. .... 54

Figura 8. Flujo del sistema de trazabilidad BPPA en unidades piscícolas del Meta. .... 62

Figura 9. Equipos para monitoreo de la calidad del agua en estanques acuícolas. .... 63

Figura 10. Raciones y control de alimento en estanques durante la fase de engorde. .... 64

Figura 11. Captura y manipulación durante la cosecha. .... 66

Figura 12. Ejemplo de auditoría con semaforización del cumplimiento BPPA. .... 83

Figura 13. Alianzas interinstitucionales para la sostenibilidad del Sistema de Capacitación acuícola. .... 93

### **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>AUNAP</b>	Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca
<b>BAP</b>	Best Aquaculture Practices
<b>BPPA</b>	Buenas Prácticas de Producción Acuícola
<b>DANE</b>	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>FEDEACUA</b>	Federación Colombiana de Acuicultores
<b>ICA</b>	Instituto Colombiano Agropecuario
<b>MADR</b>	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
<b>NTC</b>	Norma Técnica Colombiana
<b>OIRSA</b>	Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria
<b>POES</b>	Procedimientos Operativos Estandarizados Sanitarios
<b>RFID</b>	Radio Frequency Identification
<b>UPA</b>	Unidad de Producción Acuícola
<b>UPB</b>	Universidad Pontificia Bolivariana

## Resumen

La producción piscícola desempeña un papel fundamental en el suministro de alimentos y en la economía de regiones como Villavicencio, Meta; no obstante, persisten limitaciones técnicas y ambientales asociadas a la falta de estandarización en los procesos productivos. Ante esta situación, el presente proyecto tuvo como objetivo formular un protocolo de producción piscícola sustentado en las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA), con el fin de mejorar la calidad del producto, optimizar los resultados productivos y promover un manejo ambiental responsable. Para ello, se llevó a cabo una revisión bibliográfica y normativa sobre las BPPA, complementada con un diagnóstico en 22 unidades acuícolas de 4 municipios a través de una encuesta estructurada, la cual evaluó aspectos relacionados con sanidad, alimentación, calidad del agua, manejo de desechos, trazabilidad y bienestar animal. Los análisis reflejaron que la mayoría de los establecimientos cumplen solo parcialmente con los estándares recomendados, evidenciando debilidades principalmente en la gestión de residuos, los registros productivos y el control sanitario. A partir de estos resultados, se diseñó un plan de mejora y un protocolo ajustado a las condiciones productivas locales. Se concluye que la implementación de las BPPA permitirá fortalecer la sostenibilidad del cultivo, elevar la competitividad del sector y asegurar productos de mayor calidad destinados al consumo humano.

*Palabras clave:* Bienestar animal, Bioseguridad, Buenas Prácticas de Producción Acuícola, Calidad del agua, Manejo de residuos

### **Abstract**

Aquaculture plays a key role in food supply and economic development in regions such as Villavicencio, Meta; however, technical and environmental limitations persist due to the lack of standardized production practices. This project aimed to develop a fish production protocol based on Good Aquaculture Practices (GAP) to improve product quality, enhance production performance, and promote environmentally responsible management. To this end, a bibliographic and regulatory review of Good Aquaculture Practices (GAP) was conducted, complemented by a diagnostic assessment in 22 aquaculture units across four municipalities through a structured survey, which evaluated aspects related to health management, feeding, water quality, waste management, traceability, and animal welfare. The evaluation showed partial adoption of the recommended practices, with major gaps identified in waste management, production records, and sanitary programs. Based on the diagnostic results, an improvement plan and a locally adapted operational protocol were designed. The findings suggest that progressive implementation of GAP could increase productivity, strengthen sustainability, and ensure safer and higher-quality fish destined for human consumption in the region.

*Keywords:* Animal welfare, Aquaculture Good Production Practices, Biosecurity, Residue management, Water quality

## 1. Introducción

La acuicultura se ha consolidado como uno de los sectores agropecuarios de mayor dinamismo a nivel global, impulsada por el crecimiento en la demanda de proteína animal y la disminución de la oferta proveniente de pesquerías tradicionales. La FAO (2022) señala que más del 50 % del pescado destinado al consumo humano proviene actualmente de sistemas de cultivo, lo que refleja la importancia creciente de esta actividad dentro de la seguridad alimentaria mundial. En Colombia, la piscicultura ha adquirido un papel estratégico, especialmente en regiones con alto potencial hídrico como el departamento del Meta, donde se concentra una fracción significativa de la producción nacional (AUNAP, 2023). Este desarrollo ha generado la necesidad de fortalecer las capacidades técnicas y el cumplimiento normativo para garantizar la sostenibilidad económica, social y ambiental del sector.

A pesar de su expansión, la actividad piscícola enfrenta múltiples desafíos que limitan su competitividad. Entre ellos se encuentran la variabilidad en la calidad del producto, los impactos ambientales derivados de un manejo inadecuado del agua y de los efluentes, las pérdidas económicas asociadas con enfermedades y la ausencia de procesos estandarizados que orienten la operación diaria de las unidades productivas. En Colombia, la acumulación de compuestos nitrogenados, fósforo y sólidos suspendidos en aguas de cultivo debido a la liberación de alimento no asimilado y sedimentos ha sido identificada como un factor que puede generar efluentes ricos en nutrientes, provocando potencial eutrofización y desequilibrios en ecosistemas acuáticos cuando no se tratan adecuadamente (Imués-Figueroa et al., 2018). En estudios realizados en el Lago Guamuez (Nariño), las actividades de acuicultura intensiva han mostrado efectos sobre parámetros fisicoquímicos del agua y nutrientes, evidenciando impactos ambientales locales sobre las variables de calidad del agua (González Legarda, Burbano Gallardo, Aparicio Rengifo, & Duque Nivia, 2018). Asimismo, la producción de alimentos balanceados y la elevada demanda de insumos en sistemas de cultivo intensivo puede incrementar la presión sobre recursos naturales y potenciar impactos ambientales adicionales vinculados a la disponibilidad y uso del recurso hídrico (Vásquez et al., 2023).

Desde la perspectiva productiva y económica, las limitaciones en el acceso a tecnologías, la falta de capacitación y la infraestructura insuficiente dificultan el mejoramiento de la eficiencia y la calidad del pescado, afectando la rentabilidad de pequeños y medianos productores (Gómez et al., 2020; García & Morales, 2022). A ello se suman los riesgos laborales identificados en el sector acuícola colombiano, que incluyen exposición a peligros biológicos, químicos y ergonómicos, así como deficiencias en la protección laboral, especialmente en zonas rurales (Fondo Riesgos Laborales, 2024; MinTrabajo, 2024). Estos factores evidencian una brecha entre las condiciones ideales de producción y las capacidades reales de numerosos establecimientos.

En respuesta a estos retos, las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) se han consolidado como un marco fundamental para orientar la gestión técnica, operativa y ambiental de las unidades de cultivo. Organismos internacionales y nacionales destacan su valor para fortalecer la inocuidad, la bioseguridad, el bienestar animal, el manejo del agua, la trazabilidad y el control de riesgos (OIRSA, 2017; FAO, 2025). En Colombia, estos lineamientos se han incorporado en el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control del Decreto 1500 de 2007, en la Resolución 240 de 2019 de la AUNAP y en normas técnicas como la NTC 5700, orientando la producción primaria hacia estándares más rigurosos.

No obstante, la implementación de estas directrices continúa siendo limitada en pequeñas y medianas explotaciones debido a restricciones económicas, falta de actualización técnica y ausencia de protocolos escritos que sistematicen las actividades diarias (AUNAP & FAO, 2024; Rueda-Barrios et al., 2019; ICA, 2016). Esta realidad se evidencia en municipios como Villavicencio, Restrepo, Cumaral y Castilla La Nueva, donde numerosos sistemas operan sin procedimientos formalizados, generando variabilidad en la calidad del producto y aumentando el riesgo sanitario (AUNAP, 2023; Jiménez & Castaño, 2020).

Con base en lo anterior, se plantea la necesidad de diseñar un protocolo de producción bajo BPPA para establecimientos piscícolas ubicado en el departamento del Meta, con el propósito de fortalecer los procesos productivos, garantizar el cumplimiento de la normatividad vigente y promover la sostenibilidad de la actividad. Los establecimientos cuentan con infraestructura operativa y registros básicos; sin embargo, presentan vacíos en la estandarización de procedimientos, en el monitoreo sistemático del agua, en el control sanitario y en la gestión de la bioseguridad.

Estas condiciones justifican la elaboración de un documento técnico unificado que oriente de manera clara y verificable la ejecución de actividades cotidianas bajo criterios de eficiencia, inocuidad y responsabilidad ambiental.

El presente documento integra lineamientos técnicos, sanitarios, ambientales y operativos para consolidar un protocolo de producción piscícola basado en BPPA, estructurado a partir del diagnóstico de campo y de las necesidades identificadas en la región. Su formulación busca fortalecer la competitividad del sector acuícola en el Meta, promover prácticas responsables que contribuyan a la protección de los recursos naturales y asegurar la disponibilidad de productos acuícolas de alta calidad para el consumo humano. De este modo, la introducción constituye una herramienta orientadora que responde a los desafíos actuales del sector y favorece la transición hacia modelos de producción más eficientes, sostenibles y formalizados.

## 2. Justificación

Según la dirección Ejecutiva de la Federación Colombiana de Acuicultores (FEDEACUA) durante el año 2021 se produjeron 192.521 toneladas de trucha, tilapia, cachama y otras especies, lo que evidenció un aumento del 7% con relación al 2020. A nivel departamental, los territorios que más aportaron a la producción nacional piscícola fueron: Huila, con 73.048 toneladas (39%); Meta, con 20.813 toneladas (11%); Tolima, con 17.156 toneladas (9%); Córdoba, con 9.321 toneladas (5%) y Antioquia, con 6.927 toneladas (4%). Se anota que la tilapia fue la especie más cultivada, representando el 58% de la producción nacional, seguido por la cachama, con el 19%, mientras que la trucha, el 16%, en tanto que el cultivo de otras especies -como el bagre y el bocachico, alcanzó el 7% (En Nuestro Campo, 2022). Así mismo, la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP, 2024) destaca que las exportaciones en Colombia pasaron de 51.350 kilos para el 2022 a 64.000 kilos en 2023, en donde se registran 113.000 pescadores formalizados y una cifra cercana a 36.000 acuicultores

En el contexto colombiano, la acuicultura es una fuente de desarrollo local que contribuye significativamente a la seguridad alimentaria y ofrece empleos en zonas rurales. Sin embargo, para competir en mercados exigentes, es necesario que la producción cumpla con estándares internacionales de calidad y sostenibilidad, lo que se logra mediante la certificación en BPPA y BPM (AUNAP, 2024). Según la (FAO, 2022), la producción mundial de acuicultura alcanzó 114 millones de toneladas en 2020, y se espera que siga creciendo debido al aumento de la demanda de proteínas de origen acuático. En Colombia, la producción de pescado ha mostrado un crecimiento significativo, en este sentido el Departamento Nacional de Estadísticas (DANE), resaltó que se ha dado un crecimiento en el sector del 37,8 % en el cuarto trimestre de 2023. En concordancia, el PIB de pesca y acuicultura destaca un crecimiento del 17 % en 2023, respecto al periodo enero a septiembre de 2022 y un crecimiento en la exportación de tilapia, trucha y camarón de cultivo. Además, la producción acuícola ascendió a las 192.000 toneladas y la producción pesquera se encuentra alrededor de 81.000 toneladas (AUNAP, 2023).

Según cifras dadas por el Ministerio de Agricultura en el año 2021, el Meta produce el 11% de la piscicultura de Colombia, siendo el tercer departamento producto de Colombia, así mismo revela que la Encuesta Nacional Agropecuaria del segundo semestre de 2019, los departamentos de Huila, Meta y Tolima representan en conjunto el 17% de las UPAs (Unidades de Producción Acuícola)

con presencia de acuicultura, donde se concentra el 58% de la producción. Otro aspecto importante, es que, en el 2021, según el Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural, el departamento del Huila contaba con 21 granjas para engorde piscícolas certificadas bajo estándares de calidad BAP (Best Aquaculture Practices) y unas 10 de alevinos; en tanto que el departamento de Boyacá se registraba con 1 granja de engorde certificada, el departamento del Meta no se registraba con granjas certificadas (Minagricultura, 2021).

Reconociendo la relevancia económica y la dinámica productiva que la acuicultura aporta al departamento del Meta y a la ciudad de Villavicencio, resulta imprescindible diseñar e implementar un protocolo de Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) que garantice la calidad sanitaria e inocuidad del producto, facilite la trazabilidad y responda a los requisitos de mercados más exigentes, lo cual puede traducirse en mayores ingresos y mejores oportunidades comerciales para los productores locales (AUNAP, 2022; SIOc–MADR, 2021).

Un protocolo BPPA no solo establece procedimientos de manejo y registro por ejemplo requisitos de trazabilidad, manejo sanitario y estandarización de procesos, sino que también sirve como marco técnico para la adopción de prácticas que minimicen los riesgos ambientales asociados a la actividad acuícola (FAO, 2025). Entre las medidas técnicas más importantes relacionadas con la sostenibilidad se encuentran el monitoreo y manejo sistemático de la calidad del agua (parámetros físico-químicos y biológicos), el control de efluentes y de residuos, y la implementación de medidas para prevenir y mitigar la eutrofización en cuerpos receptores (revisiones sobre eutrofización, Smith, 2009).

Además, la puesta en marcha de BPPA facilita la formalización y el fortalecimiento institucional del sector vía asistencia técnica, registros estadísticos y acceso a programas gubernamentales lo que, a su vez, mejora la disponibilidad de información para la toma de decisiones locales y regionales (AUNAP, 2022; DANE, 2024). En el caso del Meta, estudios y boletines sectoriales muestran que la región es uno de los departamentos con mayor participación en la producción piscícola del país, por lo cual la adopción de protocolos orientados a la inocuidad y al manejo ambiental tiene un impacto potencial significativo sobre la economía regional y la conservación de sus recursos acuáticos (Gobernación del Meta, 2025; SIOc–MADR, 2021).

En síntesis, un protocolo BPPA adaptado al contexto del Meta contribuye simultáneamente a: a) elevar la calidad e inocuidad del pescado producido; b) abrir y consolidar canales de

comercialización más exigentes; c) disminuir impactos ambientales asociados a descargas y manejo inadecuado del agua y residuos (reducción de riesgos de eutrofización); y d) fortalecer la capacidad técnica y estadística del sector para la formulación de políticas y su seguimiento (FAO, 2025; AUNAP, 2022; Boyd, 2015; Smith, 2009).

Por lo tanto, el establecimiento de un protocolo para la producción de pescado bajo BPPA es fundamental para el desarrollo sostenible de la acuicultura en la región, garantizando así el bienestar económico y social de las comunidades involucradas.

El fortalecimiento de la acuicultura en Colombia requiere la adopción de herramientas técnicas que permitan garantizar la sostenibilidad, la inocuidad y la calidad del producto, aspectos fundamentales para el desarrollo competitivo del sector. En este sentido, la implementación de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) constituye una estrategia esencial para mejorar la gestión de los recursos hídricos, reducir los riesgos sanitarios y ambientales, y asegurar el bienestar animal en las etapas de cultivo, manejo y cosecha (FAO, 2020).

En el contexto del departamento del Meta, la acuicultura es una actividad con alto potencial, pero con limitaciones estructurales derivadas de la falta de estandarización técnica y del desconocimiento de las normativas vigentes. Muchos sistemas de producción operan bajo esquemas semiintensivos o extensivos, sin protocolos definidos para el control de calidad del agua, el manejo de residuos, la alimentación o la bioseguridad (AUNAP, 2019). Esta situación genera pérdidas económicas, afecta la rentabilidad del sector y representa riesgos ambientales considerables por la descarga inadecuada de efluentes y residuos orgánicos.

El desarrollo de un protocolo integral de BPPA adaptado a las condiciones ecológicas y socioeconómicas de Villavicencio y municipios aledaños, permitirá establecer una guía práctica para los productores, promoviendo la eficiencia productiva, la reducción de impactos ambientales y la formalización técnica de las unidades acuícolas. Dicho protocolo se sustenta en la Política Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2018), la cual resalta la necesidad de impulsar sistemas productivos sostenibles, fortalecer la gestión sanitaria y fomentar la adopción de buenas prácticas que garanticen la inocuidad y calidad de los alimentos.

Desde una perspectiva técnica, el protocolo busca optimizar las etapas del proceso productivo mediante la aplicación gradual y verificable de las BPPA, abordando aspectos como la trazabilidad,

la alimentación balanceada, la bioseguridad, el manejo de residuos y el bienestar animal. En términos ambientales, la implementación del protocolo pretende reducir la contaminación de los cuerpos de agua, mitigar los efectos de la eutrofización y conservar la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos.

Asimismo, este proyecto contribuye directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, en particular:

- El ODS 2 (Hambre Cero), al promover la disponibilidad de alimentos de origen acuícola seguros y sostenibles.
- El ODS 12 (Producción y Consumo Responsables), al fomentar el uso eficiente de los recursos naturales.
- El ODS 14 (Vida Submarina), al impulsar la conservación de los ecosistemas acuáticos mediante una producción controlada y responsable.

En síntesis, la formulación de este protocolo representa una oportunidad para avanzar hacia una acuicultura sostenible, rentable y responsable, fortaleciendo el desarrollo regional y aportando al mejoramiento de la seguridad alimentaria en el país.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Diseñar un protocolo integral de producción piscícola para unidades ubicadas en Villavicencio y municipios aledaños del departamento del Meta, a partir del diagnóstico del nivel de cumplimiento de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) en los componentes sanitario, productivo y administrativo, que permita estructurar lineamientos técnicos y procedimientos estandarizados para mejorar la trazabilidad, la calidad del producto y la eficiencia operativa del cultivo.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar el nivel de cumplimiento de las BPPA en las unidades productivas evaluadas mediante instrumentos de diagnóstico estructurados.
- Identificar brechas técnicas en bioseguridad, calidad del agua, manejo sanitario, alimentación y registros productivos.
- Analizar la información recolectada mediante estadística descriptiva para establecer tendencias y prioridades de intervención.
- Formular un protocolo técnico adaptado al contexto regional, sustentado en normativa vigente y literatura especializada.
- Proponer lineamientos de implementación gradual orientados al fortalecimiento técnico y sanitario de las unidades productivas.

## **4. Marco referencial**

El marco referencial integra los fundamentos teóricos, conceptuales y normativos que sustentan el diseño del Protocolo de Producción de Pescado bajo Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA). Este capítulo organiza y amplía los conceptos encontrados en el documento original (POES, manejo del agua, trazabilidad, manejo sanitario y bioseguridad), articulándolos con conocimiento científico actualizado y normativa vigente.

### **4.1 Marco conceptual y teórico**

Este trabajo ha tomado de referencia conceptual y teórica principalmente las orientaciones que para el tema de buenas prácticas de producción acuícola tienen los entes internacionales y nacionales que legislan sobre este. A continuación se presentan los conceptos clave que son clave para el entendimiento del trabajo.

#### **Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA)**

Las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) constituyen un conjunto integrado de lineamientos técnicos orientados a asegurar que la producción de peces se desarrolle bajo condiciones que garanticen la inocuidad del alimento, la sostenibilidad ambiental y el bienestar de los organismos cultivados. Estas prácticas abarcan el manejo adecuado de la calidad del agua, la alimentación balanceada, el control sanitario, la aplicación de medidas de bioseguridad, la gestión responsable de residuos y la documentación sistemática de los procesos productivos. La evidencia científica demuestra que la implementación de BPPA reduce de manera significativa los riesgos físicos, químicos y biológicos asociados a la producción acuícola, contribuyendo a mejorar la eficiencia productiva y la seguridad del consumidor (FAO, 2022; Boyd & Tucker, 1998).

Desde un enfoque teórico, las BPPA se sustentan en principios de manejo preventivo y control de riesgos, priorizando la estandarización de procesos y la toma de decisiones basada en registros. Este enfoque permite anticipar fallas productivas y sanitarias antes de que se traduzcan en pérdidas económicas o impactos ambientales negativos. En Colombia, las BPPA han sido incorporadas progresivamente en la normativa del sector acuícola, convirtiéndose en un requisito fundamental para el registro y funcionamiento de las unidades productivas, así como para el acceso a mercados formales (AUNAP, 2023; AUNAP & FAO, 2024).

## **Protocolo de Producción Acuícola**

El protocolo de producción acuícola es un documento técnico-operativo que organiza y estandariza las actividades realizadas dentro de una unidad piscícola. Su función principal es definir procedimientos, responsables, frecuencias, insumos, indicadores y registros, con el fin de reducir la variabilidad operativa y garantizar la trazabilidad del proceso productivo. Desde la perspectiva de la gestión de calidad, los protocolos permiten homogeneizar prácticas, mejorar la eficiencia y facilitar la evaluación del desempeño productivo y sanitario (OIRSA, 2017).

En la práctica, estos protocolos integran rutinas de manejo del agua, alimentación, observación del comportamiento de los peces, control de mortalidades, cosecha, limpieza y bioseguridad. La literatura especializada señala que la ausencia de protocolos incrementa la probabilidad de fallas críticas, especialmente en sistemas semi-intensivos donde el control continuo de variables es determinante para la sostenibilidad del cultivo (AUNAP, 2020; Saltarén & Rivera, 2022). En este sentido, los protocolos se convierten en una herramienta clave para auditorías, inspecciones oficiales y procesos de certificación bajo esquemas de BPPA (AUNAP, 2023).

## **Procesos Operativos Estándar Sanitarios (POES)**

Los Procesos Operativos Estándar Sanitarios (POES) corresponden a procedimientos documentados que establecen las rutinas de limpieza, desinfección, control de plagas, manejo de residuos y protección del personal. Su finalidad es mantener condiciones higiénico-sanitarias adecuadas en las instalaciones y equipos, reduciendo el riesgo de contaminación y la propagación de agentes patógenos. Desde el enfoque teórico de la inocuidad alimentaria, los POES constituyen la base sobre la cual se construyen sistemas más complejos de aseguramiento de la calidad (Codex Alimentarius, 2006).

En el contexto de la piscicultura, la aplicación sistemática de los POES ha demostrado mejoras en la calidad microbiológica del agua y una disminución en la incidencia de enfermedades, facilitando además los procesos de supervisión por parte de las autoridades sanitarias (FAO, 2022; AUNAP & FAO, 2024). La adecuada documentación y seguimiento de estos procesos resulta indispensable para evidenciar el cumplimiento normativo y fortalecer la competitividad de las unidades productivas.

### **Bioseguridad en piscicultura**

La bioseguridad se define como el conjunto de medidas orientadas a prevenir el ingreso, establecimiento y diseminación de agentes patógenos en los sistemas de producción acuícola. Estas medidas incluyen el control de accesos, la desinfección de equipos y vehículos, la restricción de visitantes, la cuarentena de alevinos, el manejo adecuado de mortalidades y la separación por lotes o edades. Desde una perspectiva preventiva, la bioseguridad es considerada una de las estrategias más costo-efectivas para reducir pérdidas productivas y sanitarias (ICA, 2016).

En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario ha señalado que la implementación disciplinada de medidas de bioseguridad mejora los indicadores sanitarios y reduce la mortalidad en especies de importancia comercial como la tilapia. Esto resulta especialmente relevante en regiones cálidas como el Meta, donde la variabilidad ambiental favorece la proliferación de patógenos y exige un control riguroso del sistema productivo (ICA, 2024; AUNAP & FAO, 2024).

### **Manejo y calidad del agua**

La calidad del agua constituye el eje central de los sistemas acuícolas, ya que determina directamente el crecimiento, la salud y la supervivencia de los peces. Parámetros como oxígeno disuelto, temperatura, pH, amonio y nitritos influyen de manera directa en el metabolismo, la eficiencia alimenticia y la respuesta inmune de los organismos cultivados. La teoría clásica del manejo acuícola establece que el control riguroso de estos parámetros reduce el estrés fisiológico y optimiza el desempeño productivo (Boyd & Tucker, 1998).

En sistemas semi-intensivos, característicos de Villavicencio y municipios aledaños, el monitoreo debe realizarse de forma sistemática, especialmente en horas críticas del día y después de eventos como la alimentación o lluvias intensas. Una gestión deficiente de la calidad del agua se asocia con la proliferación de algas nocivas, brotes de enfermedades y disminución de la productividad, lo que refuerza la necesidad de integrar el manejo del agua como componente esencial de las BPPA (FAO, 2022; AUNAP & FAO, 2024).

### **Trazabilidad en la producción acuícola**

La trazabilidad hace referencia al registro ordenado y sistemático de la información asociada al ciclo productivo, desde la procedencia de los alevinos y alimentos hasta los tratamientos sanitarios,

parámetros ambientales, mortalidades y datos de cosecha. Este sistema permite reconstruir la historia productiva de un lote ante eventos sanitarios o reclamos, además de facilitar auditorías e inspecciones oficiales (Codex Alimentarius, 2006).

La FAO y la AUNAP destacan que la trazabilidad es un requisito indispensable para la certificación bajo esquemas de BPPA y para el acceso a mercados que exigen productos documentados. Asimismo, su implementación mejora la toma de decisiones al permitir el análisis de tendencias productivas y la identificación temprana de fallas (FAO, 2022; AUNAP, 2023; OIRSA, 2017).

### **Sistemas de producción piscícola, sanidad y sostenibilidad**

Los sistemas de producción piscícola se clasifican en extensivos, semi-intensivos e intensivos, según la densidad de siembra, el nivel de tecnificación y la intensidad del manejo. En el departamento del Meta predominan los sistemas semi-intensivos, los cuales requieren un equilibrio entre productividad y sostenibilidad. La literatura señala que el desempeño de estos sistemas depende de la integración entre manejo sanitario, bioseguridad, calidad del agua y estandarización de procesos (FAO, 2022; Boyd & Tucker, 1998).

La sanidad acuícola comprende las acciones de prevención, vigilancia, diagnóstico y control de enfermedades, y tiene un impacto directo sobre la productividad y la viabilidad económica del cultivo. Estudios realizados en Colombia evidencian que las unidades productivas que integran sanidad, bioseguridad y BPPA presentan mejores indicadores productivos y menor incidencia de eventos sanitarios críticos (ICA, 2024; AUNAP & FAO, 2024). A su vez, la integración de la gestión ambiental con las BPPA permite reducir impactos negativos sobre los ecosistemas, mejorar la aceptación social de la actividad y cumplir con la normativa ambiental vigente (Saltarén & Rivera, 2022).

### **4.2 Marco normativo**

El marco normativo referencial sobre el cual se ha desarrollado este trabajo comprende legislación nacional e internacional que regula la producción acuícola en Colombia y fundamenta el protocolo formulado.

### **Normativa colombiana**

- **Decreto 1500 de 2007.** Establece el Sistema de Inspección, Vigilancia y Control de alimentos de origen animal, definiendo requisitos para la producción primaria, transporte, procesamiento y comercialización.
- **Resolución 240 de 2019 AUNAP.** Regula el registro, funcionamiento y seguimiento de unidades de producción acuícola, incorporando criterios de bioseguridad, bienestar animal y manejo sanitario.
- **NTC 5700 Sistemas de gestión de inocuidad en acuicultura.** Propone lineamientos para implementar controles operativos y registros en la producción primaria de peces.

### **Normativa y lineamientos internacionales**

- **FAO Acuicultura sostenible.** Los lineamientos de la FAO promueven prácticas responsables que garanticen la bioseguridad, sostenibilidad ambiental y eficiencia productiva (FAO, 2022).
- **Codex Alimentarius.** El Codex establece directrices para la inocuidad en productos acuícolas destinados al consumo humano, incluyendo límites de contaminantes, prácticas higiénicas y trazabilidad.

## **5. Metodología**

La presente investigación se desarrolló mediante un enfoque mixto, no experimental y descriptivo diagnóstico, aplicado a 22 unidades piscícolas ubicadas en Villavicencio y municipios aledaños del departamento del Meta. El diseño se fundamentó en la necesidad de caracterizar la implementación real de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) integrando información primaria (encuestas, entrevistas y observación directa) y secundaria (registros internos de cada unidad), siguiendo recomendaciones de organismos internacionales como FAO y AUNAP para la evaluación de sistemas productivos acuícolas (FAO, 2022; AUNAP & FAO, 2024).

### **5.1 Criterios para el diagnóstico**

El diagnóstico se estructuró a partir de criterios derivados de normas técnicas internacionales y nacionales, que constituyen el marco regulatorio de las BPPA. Se utilizaron como referencia la NTC 5700 (Sistemas de gestión de inocuidad para acuicultura primaria), FAO (Technical Guidelines on Aquaculture Biosecurity), Codex Alimentarius (Code of Practice for Fish and Fishery Products), OIRSA (Manual de Bioseguridad para Acuicultura). A partir de estas normas se definieron cinco criterios de evaluación: a) infraestructura y bioseguridad, b) calidad del agua, manejo del alimento, c) sanidad y prevención de enfermedades y d) trazabilidad y registros.

Cada criterio fue evaluado mediante una matriz diagnóstica tipo rúbrica, diseñada específicamente para esta investigación, que permitió valorar el cumplimiento en tres niveles: Cumple, Cumple parcialmente, No cumple (ICONTEC, 2020; Codex Alimentarius, 2020; FAO, 2011).

### **5.2 Instrumentos de recolección de información**

#### **5.2.1 Lista de verificación normada**

Durante las visitas técnicas se aplicó una lista de verificación diseñada con base en los requisitos de la NTC 5700, las directrices FAO para acuicultura sostenible y los principios del Codex para el manejo higiénico de productos acuícolas. Esta lista incluyó 57 ítems distribuidos en los cinco criterios diagnósticos principales, permitiendo comparar las prácticas observadas con el estándar técnico recomendado para la acuicultura responsable (ICONTEC, 2020; FAO, 2022).

### 5.2.2 Matriz diagnóstica (rúbrica técnica)

La información obtenida mediante la lista de verificación fue sistematizada en una matriz diagnóstica tipo rúbrica, diseñada específicamente para esta investigación.

La matriz establece tres niveles de cumplimiento (0 = no cumple; 1 = cumple parcialmente; 2 = cumple) para cada criterio, lo que permite evaluar objetivamente la situación de cada unidad y comparar su desempeño con los estándares del sector (AUNAP & FAO, 2024; FAO, 2011).

### 5.2.3 Encuesta estructurada (40 preguntas) aplicada a 22 unidades piscícolas

Se aplicó una encuesta compuesta por 40 preguntas, dirigida a propietarios, administradores o técnicos de producción de las 22 unidades piscícolas. La encuesta incluyó aspectos sobre información general, trazabilidad, calidad del agua, alimentación, manejo de residuos, bienestar animal, bioseguridad y limitaciones operativas.

Fue aplicada presencialmente durante las visitas, garantizando uniformidad en la recolección de datos y reduciendo el sesgo de interpretación. Este instrumento permitió identificar el nivel de apropiación del personal frente a las BPPA y contrastar estas percepciones con las prácticas observadas directamente en campo (OIRSA, 2017; ICA, 2024).

### 5.2.4 Entrevistas semiestructuradas

Se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas charlas, dirigidas a los responsables operativos de las unidades piscícolas. Las entrevistas abordaron aspectos relacionados con decisiones de manejo, procesos operativos, control sanitario, monitoreo del agua, manejo de insumos, procedimientos de alimentación y frecuencia de registros.

Este instrumento permitió revelar coherencias y contradicciones entre lo declarado y lo observado, fortaleciendo el análisis cualitativo de los resultados (Saltarén & Rivera, 2022).

### 5.2.5 Revisión documental (fuentes secundarias)

Al ser un estudio no experimental, la verificación técnica se complementó con la revisión de documentos internos de cada unidad productiva: registros de mortalidad, planillas de alimentación, fichas de monitoreo del agua, reportes sanitarios, historial de cosecha, facturas y soportes de insumos.

Estos documentos permitieron determinar si las piscícolas realmente mantenían los procedimientos declarados y si cumplían con exigencias normativas como el Decreto 1500 y la Resolución 240 de 2019 (MinSalud, 2019; AUNAP, 2019).

### **5.3 Procedimiento general**

El trabajo de campo se desarrolló en tres fases:

- Fase 1. Preparación y contacto. Identificación de productores y verificación de disponibilidad documental.(FAO, 2011)

- Fase 2. Trabajo de campo. Incluyó: Aplicación presencial de la lista de verificación, diligenciamiento de la encuesta de 40 preguntas, realización de entrevistas semiestructuradas, revisión de registros internos (Boyd & Tucker, 1998; FAO, 2022)

- Fase 3. Validación cruzada y triangulación. Se contrastaron tres fuentes: lo que la piscícola declaró (encuesta), lo que evidenciaron los documentos, lo que se observó directamente en campo.

Este método asegura la confiabilidad y coherencia interna de los resultados del estudio (Codex Alimentarius, 2020).

El alcance metodológico del estudio se centró en el diagnóstico técnico de las unidades productivas y en la estructuración de un protocolo basado en Buenas Prácticas de Producción Acuícola. No se contempló una fase de implementación piloto ni una medición posterior de indicadores productivos que permitiera evaluar empíricamente el impacto del protocolo en términos de incremento de productividad. En consecuencia, la mejora productiva asociada al instrumento diseñado se plantea como una proyección técnica sustentada en la literatura especializada y en el marco normativo vigente (FAO, 2011; ICA, 2018; AUNAP, 2020), mas no como un resultado medido dentro del presente estudio

### **5.4 Contexto regional: pertinencia para el Meta y la Orinoquia**

El departamento del Meta posee características productivas particulares: clima cálido-húmedo, predominio de sistemas semi-intensivos, uso de estanques tierra y policultivos de tilapia/cachama. Además, la zona presenta fluctuaciones estacionales que afectan la calidad del agua y la oferta de insumos. Por ello, el protocolo formulado en este estudio no es general, sino que se adapta por ello,

el protocolo diseñado no es genérico, sino adaptado a: La infraestructura real encontrada, los recursos disponibles localmente, las prácticas predominantes en la Orinoquia, Los problemas identificados en campo. Esto justifica la pertinencia de un protocolo específico para Villavicencio y municipios aledaños. (AUNAP & FAO, 2024; Salterén & Rivera, 2022).

### 5.5 Análisis de la información y estadístico

- Análisis cuantitativo. Los datos de la encuesta y la matriz diagnóstica se analizaron mediante frecuencias, porcentajes y promedios. Este tipo de estadística descriptiva es recomendada para diagnósticos de BPPA en unidades productivas (FAO, 2022).

- Análisis cualitativo. Se organizó la información proveniente de entrevistas y observación en categorías temáticas: bioseguridad, alimentación, calidad del agua, gestión sanitaria y trazabilidad.

- Triangulación metodológica. La integración de instrumentos permitió generar resultados sólidos, coherentes y directamente asociados a la realidad de las piscícolas evaluadas (Codex Alimentarius, 2020).

Para evaluar el nivel de cumplimiento de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA), se construyó una matriz de datos con 22 unidades de producción acuícola ( $N = 22$ ) como casos y 6 dimensiones evaluadas como variables: (i) trazabilidad, (ii) calidad del agua, (iii) alimentación, (iv) manejo de residuos, (v) bioseguridad y (vi) bienestar animal.

Cada pregunta del instrumento fue codificada mediante una escala dicotómica-ordinal: 1 = cumple, 0.5 = cumplimiento parcial y 0 = no cumple, de acuerdo con la metodología reportada para estudios de adopción de BPPA (FAO, 2020; AUNAP, 2021).

Para cada dimensión se calculó un puntaje promedio de cumplimiento mediante estadísticos descriptivos (media y desviación estándar). Posteriormente, se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ), apropiado para variables no paramétricas y escalas ordinales (Hollander, Wolfe & Chicken, 2013). El análisis estadístico se realizó en IBM SPSS Statistics v.29 y Python 3.10.

La interpretación de las correlaciones siguió los rangos de Evans (1996):  $\rho < .20$  = muy débil;  $.20-.39$  = débil;  $.40-.59$  = moderada;  $.60-.79$  = fuerte;  $.80-1.00$  = muy fuerte.

El análisis de la información obtenida a través de la encuesta estructurada, listas de verificación y observación directa se desarrollo integrando los resultados con su respectiva discusión técnica de forma inmediata. Esto implica que cada componente evaluado dentro de las Buenas Prácticas de

Producción Acuícola (BPPA) será presentado acompañado de su interpretación y contraste con la literatura y estándares sectoriales. Este enfoque metodológico garantiza coherencia analítica, facilita la comprensión de los hallazgos y evita que la discusión quede desarticulada de la evidencia empírica (Hernández-Sampieri et al., 2018).

Asimismo, se incluye un análisis estadístico descriptivo e inferencial basado en la codificación de los datos en una escala ordinal (1 = cumple, 0,5 = parcial, 0 = no cumple), lo cual permite determinar los niveles de cumplimiento por componente. La correlación de Spearman fue aplicada para identificar asociaciones entre dimensiones operativas y sanitarias, siendo un método adecuado para variables no paramétricas (Hollander et al., 2013). Todos los procesamientos se realizarán a partir de la matriz de datos recolectada, la cual se anexa como soporte del estudio.

## **6. Resultados y Discusión de Resultados**

Este capítulo presenta de manera integrada los hallazgos derivados del diagnóstico realizado a 22 unidades de producción acuícola en Villavicencio, Restrepo, Cumaral y Castilla la Nueva, Meta. Los resultados se organizan según los componentes técnicos de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) y se discuten inmediatamente con relación a estándares normativos nacionales e internacionales, así como con literatura científica vigente.

La información cuantitativa fue procesada a partir de una matriz estructurada que codificó el cumplimiento de cada criterio evaluado (1 = cumple, 0,5 = parcial, 0 = no cumple). Se desarrollaron análisis descriptivos del desempeño por componente y análisis de correlación de Spearman para determinar asociaciones técnicas entre dimensiones del sistema productivo (Hollander et al., 2013). La triangulación de métodos permitió una interpretación robusta de los hallazgos, alineada con los sistemas de evaluación de BPPA en Colombia (AUNAP, 2023; ICA, 2023; FAO, 2020).

Los resultados se muestran mediante tablas comparativas, gráficos descriptivos, mapas de correlación y análisis cualitativos provenientes de la observación directa y los registros de campo. Finalmente, las brechas más relevantes identificadas fundamentan el diseño del protocolo y plan de mejora presentado en el capítulo siguiente.

Este capítulo presenta los hallazgos del diagnóstico aplicado a 22 unidades de producción acuícola ubicadas en Villavicencio, Restrepo, Cumaral y Castilla la Nueva. Los hallazgos integran evidencias cuantitativas y cualitativas recolectadas mediante listas de verificación normadas, encuestas estructuradas de 40 preguntas y entrevistas semiestructuradas con los responsables de producción; la información fue triangulada con los referentes técnicos nacionales e internacionales para establecer el grado de cumplimiento frente a las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) y las principales brechas identificadas en la región (FAO, 2020; AUNAP, 2019).

### **6.1 Diagnóstico del estado actual de las unidades de producción acuícola**

El diagnóstico se realizó en 22 unidades de producción piscícola localizadas en Villavicencio y municipios aledaños del departamento del Meta, con el fin de caracterizar su estructura productiva, condiciones sanitarias, manejo ambiental y nivel de adopción de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA). Este análisis permitió establecer una línea base diagnóstica del

contexto regional, considerando las particularidades técnicas, ambientales y socioeconómicas de la piscicultura local (FAO, 2022; AUNAP, 2023).

El número de unidades evaluadas permitió una caracterización técnica detallada del grupo participante; sin embargo, no corresponde a la totalidad de productores acuícolas registrados en el departamento del Meta, por lo que los resultados deben interpretarse dentro del alcance descriptivo del estudio y no como generalización estadística regional.

La Tabla 1 presenta la caracterización general de los establecimientos evaluados, incluyendo variables relacionadas con la localización, tipo de sistema productivo, especies cultivadas, infraestructura, manejo del agua, alimentación, bioseguridad, registros y disposición de residuos.

**Tabla 1.**

*Caracterización general del establecimiento piscícola*

<b>Categoría</b>	<b>Descripción del establecimiento</b>
Departamento / Municipio	Meta – Villavicencio, Restrepo, Cumaral y Castilla la nueva
Tipo de sistema productivo	Semi-intensivo con estanques en tierra
Número de estanques	6–12 (según registro de inspección)
Especies cultivadas	Cachama ( <i>P. brachypomus</i> ), bocachico ( <i>P. magdalenae</i> ), tilapia roja
Fuente hídrica	Naciente–quebrada local (uso por gravedad)
Método de alimentación	Alimento comercial + alimento natural
Disponibilidad de registros	Parcial: monitoreo inconsistente de parámetros y consumo (coincide con hallazgos regionales)
Sistemas de tratamiento de efluentes	No dispone de sistema formal; algunos sedimentos se desvían hacia zanjas o reutilizan en compostaje
Prácticas de bioseguridad	Control básico de limpieza; ausencia de protocolos escritos
Estado general de infraestructura	Adecuado para operación, pero sin estandarización técnica

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta y la revisión documental; N = 22).

Las unidades corresponden principalmente a sistemas semi-intensivos con estanques en tierra, alimentados por fuentes hídricas locales y con una combinación de alimento comercial y producción natural. Aunque la infraestructura general resulta funcional para la operación productiva, se evidenció una baja estandarización técnica, especialmente en aspectos relacionados con bioseguridad, manejo ambiental y registros productivos, con niveles heterogéneos de

tecnificación y una fuerte dependencia del conocimiento empírico del productor, situación descrita previamente para sistemas piscícolas tropicales (Boyd & Tucker, 1998; FAO, 2022).

La disponibilidad de registros fue mayoritariamente parcial, con monitoreo inconsistente de parámetros clave como calidad del agua, consumo de alimento y eventos sanitarios. Asimismo, la mayoría de las unidades no cuenta con sistemas formales de tratamiento de efluentes, limitándose a prácticas básicas como la desviación de sedimentos o su reutilización empírica mediante compostaje. Estas condiciones coinciden con el patrón productivo reportado para la piscicultura semi-intensiva de la Orinoquia, donde la limitada tecnificación condiciona la adopción sistemática de BPPA (AUNAP & FAO, 2024; Saltafén & Rivera, 2022).

La disposición de los estanques, la infraestructura hidráulica y la relación con la vegetación circundante se evidencian en el Anexo 3 (Fotos A3-1 a A3-3).

El diagnóstico se realizó mediante listas de verificación estructuradas y observación directa en campo, siguiendo lineamientos técnicos nacionales e internacionales, lo que permitió identificar fortalezas operativas y brechas críticas que sirven como base para el análisis posterior. (Anexo 2) (FAO, 2020; AUNAP, 2019).

En términos generales, se identificaron fortalezas en la continuidad productiva y el manejo básico de los cultivos; no obstante, se observaron debilidades recurrentes en la formalización de procedimientos, la documentación técnica y el seguimiento sistemático de indicadores, aspectos fundamentales para el cumplimiento integral de las BPPA (AUNAP & FAO, 2024). La identificación de estas condiciones corresponde a un diagnóstico situacional en un momento temporal determinado, cuya evolución dependerá de factores técnicos, ambientales y organizacionales propios de cada unidad productiva.

## **6.2 Análisis técnico por componentes BPPA**

El análisis del cumplimiento de las BPPA se estructuró a partir de componentes técnicos clave: bioseguridad, manejo de la calidad del agua, alimentación, sanidad, trazabilidad, bienestar animal y gestión ambiental, siguiendo los lineamientos establecidos por organismos nacionales e internacionales (FAO, 2022; Codex Alimentarius, 2006).

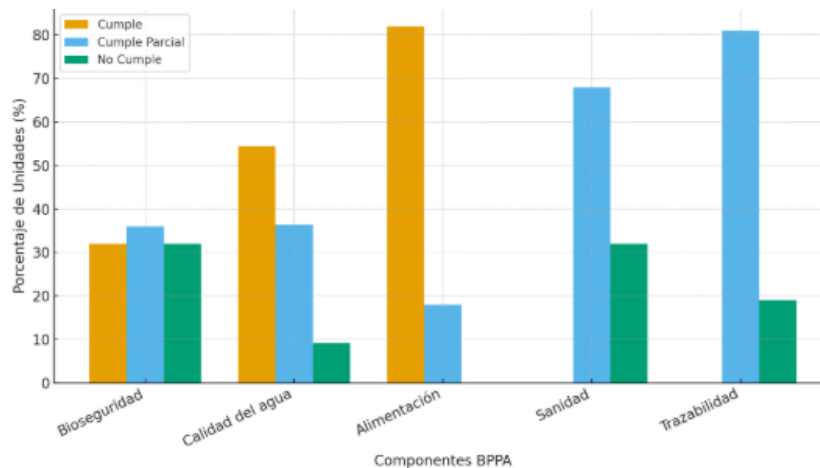
En esta sección se presentan los resultados organizados por cada componente técnico relevante para BPPA. Para cada apartado se ofrece: (a) los resultados cuantitativos principales (porcentaje y

número de unidades), (b) interpretación técnica y (c) contraste con los lineamientos normativos aplicables.

La Figura 1. demuestra que, aunque la alimentación presenta el mayor nivel de cumplimiento técnico (82%), otros componentes críticos como sanidad y trazabilidad reflejan brechas importantes, con un 68 % y 81 % de cumplimiento parcial respectivamente. Estas carencias afectan la prevención de enfermedades y la certificación sanitaria, tal como lo establecen NTC 5700 (ICONTEC, 2020) y FAO (2020). La bioseguridad muestra un desempeño equilibrado pero insuficiente, con solo un 32 % de cumplimiento total, lo que sugiere una alta vulnerabilidad frente a brotes infecciosos (AUNAP, 2019). En conjunto, los resultados evidencian una adopción fragmentada de las BPPA, con un mayor nivel de cumplimiento en componentes directamente asociados a la producción y menores avances en aquellos relacionados con la gestión ambiental y la formalización sanitaria (AUNAP, 2023).

**Figura 1.**

*Cumplimiento de Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) por componente técnico en unidades piscícolas del Meta.* Fuente: Elaboración propia con datos del diagnóstico (2025).



### 6.2.1 Manejo y calidad del agua

El 73 % de las instalaciones (16 de 22) reportaron monitoreo de parámetros básicos como oxígeno disuelto, temperatura y pH; sin embargo, únicamente el 45 % (10 de 22) dispone de equipos calibrados y menos del 60 % (13 de 22) mantiene registros organizados y sistemáticos. En cuanto a la frecuencia de medición, los datos muestran que 12 unidades (54.5 %) realizan monitoreo

frecuente (diario o cada 2–3 días), 8 unidades (36.4 %) lo hacen de forma ocasional y 2 unidades (9.1 %) no registran parámetros (2 de 22) (FAO, 2011; ICA, 2023).

Técnicamente, la disparidad entre monitoreo y calidad metrológica (equipos calibrados / registros) limita la posibilidad de generar series históricas confiables que permitan la detección temprana de tendencias y la toma de decisiones preventivas; esta situación se alinea con los reportes nacionales que exigen monitoreo sistemático y equipos calibrados como requisito para la gestión sanitaria (ICA, 2023; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). La adopción parcial del enfoque preventivo (solo 54.5 % monitorea con alta frecuencia) incrementa la vulnerabilidad a episodios de hipoxia y estrés térmico, factores comúnmente asociados a mortalidades en sistemas semi-intensivos (Boyd & Tucker, 1998; FAO, 2020).

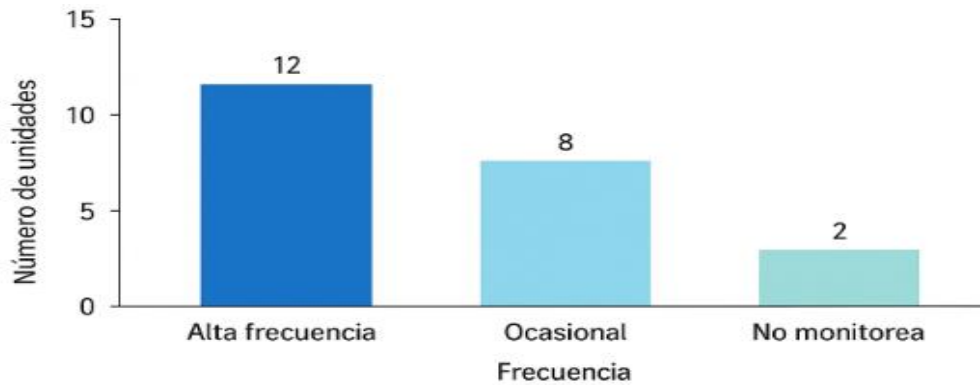
La Figura 2. evidencia que, aunque el 73 % de las unidades monitorean oxígeno disuelto, temperatura y pH, solo el 54,5 % lo hace de manera sistemática. La ausencia de calibración de equipos (55 % sin cumplimiento) y la falta de registros estandarizados (45 % sin control documental adecuado) limitan la detección temprana de eventos críticos, contrario a las recomendaciones del ICA (2023), FAO (2020) y los requisitos de la NTC 5700 (ICONTEC, 2020). Esta brecha técnica aumenta los riesgos sanitarios y ambientales, especialmente frente a fluctuaciones térmicas y picos de amonio en sistemas semi-intensivos del Meta.

La calidad del agua constituye el eje central de la producción piscícola, dado que influye directamente sobre la salud, el crecimiento y la supervivencia de los peces. La Figura 2A presenta la frecuencia de monitoreo de parámetros fisicoquímicos, mostrando que, aunque una proporción de productores realiza mediciones, estas no siempre se efectúan de manera sistemática ni en momentos críticos del ciclo productivo (Boyd & Tucker, 1998). La brecha entre monitoreo y calidad metrológica coincide con los mismos déficits reportados por ICA (2023) en sistemas semi-intensivos.

Frecuencia de monitoreo de parámetros fisicoquímicos del agua (oxígeno disuelto, temperatura y pH) en 22 unidades piscícolas del Meta. Datos propios obtenidos mediante encuestas y listas de verificación aplicadas durante 2025.

**Figura 2A.**

*Frecuencia de monitoreo de parámetros de calidad del agua.*

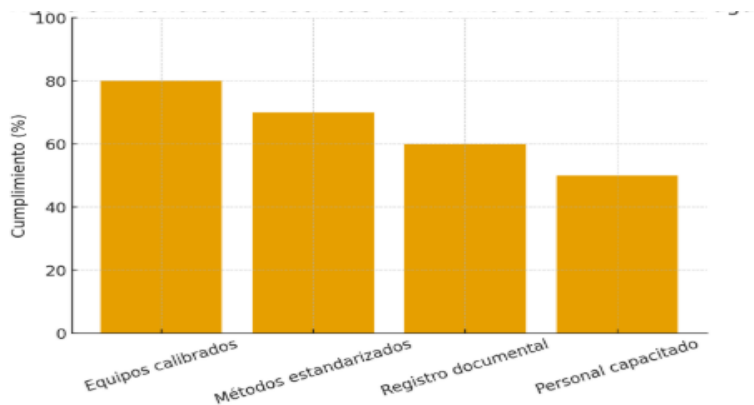


Fuente: Elaboración propia con datos del diagnóstico (2025)

Por su parte, la Figura 2B evidencia las condiciones técnicas del monitoreo, incluyendo el uso de equipos calibrados y la existencia de registros. La ausencia de registros continuos limita la gestión preventiva del sistema y aumenta el riesgo de eventos sanitarios, tal como lo señalan estudios sobre sistemas semi-intensivos tropicales (FAO, 2022; AUNAP & FAO, 2024).

**Figura 2B.**

*Condiciones técnicas del monitoreo de calidad del agua.* Fuente:



Elaboración propia con datos del diagnóstico (2025), con base en lineamientos ICA (2023), FAO (2020) y NTC 5700 (ICONTEC, 2020).

La correlación positiva entre calidad del agua y trazabilidad ( $\rho \approx .78$ ) indica que las unidades que gestionan registros de manera formal toman decisiones técnicas más efectivas, lo cual respalda que

la documentación es clave para eficiencia y sustentabilidad (Carvajal et al., 2022). Sin embargo, el nivel de cumplimiento es aún parcial, y no satisface lo establecido por la NTC 5700 y FAO respecto al control sistemático y calibración certificada (ICONTEC, 2020; FAO, 2020).

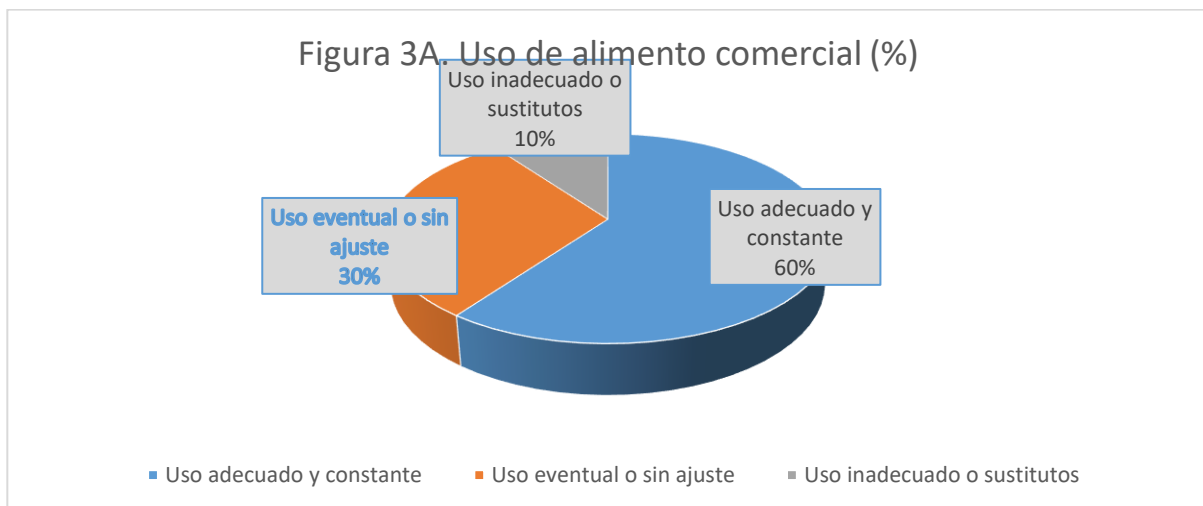
### 6.2.2 Alimentación y manejo nutricional

El 82 % de las piscícolas (18 de 22) utiliza alimento comercial, y el 86 % (19 de 22) mantiene registros sobre las cantidades suministradas; no obstante, solo el 36 % (8 de 22) calcula formalmente la conversión alimenticia (FCR). La biometría condición necesaria para ajustar raciones a la biomasa se realiza de forma esporádica, lo que lleva a ajustes alimentarios empíricos y a prácticas que pueden derivar en sobrealimentación y mayor carga orgánica en los estanques (FAO, 2020; Boyd & Tucker, 1998). Las Figuras 3A y 3B. evidencia que, aunque la mayoría de las unidades utiliza alimento comercial (82 %), solo el 36 % implementa control técnico mediante FCR y biometría, lo que limita la eficiencia alimentaria y la evaluación productiva. Esta brecha genera sobrealimentación y aumento de carga orgánica en el agua, afectando la salud de los peces y el ambiente (FAO, 2020; Tacon & Metian, 2015).

La Figura 3A muestra que la mayoría de las unidades utilizan alimento balanceado comercial, lo cual coincide con las recomendaciones técnicas para garantizar una nutrición adecuada en sistemas semi-intensivos (FAO, 2022), aunque con deficiencias en el control técnico de su suministro.

#### Figura 3A.

*Uso de alimento comercial.*

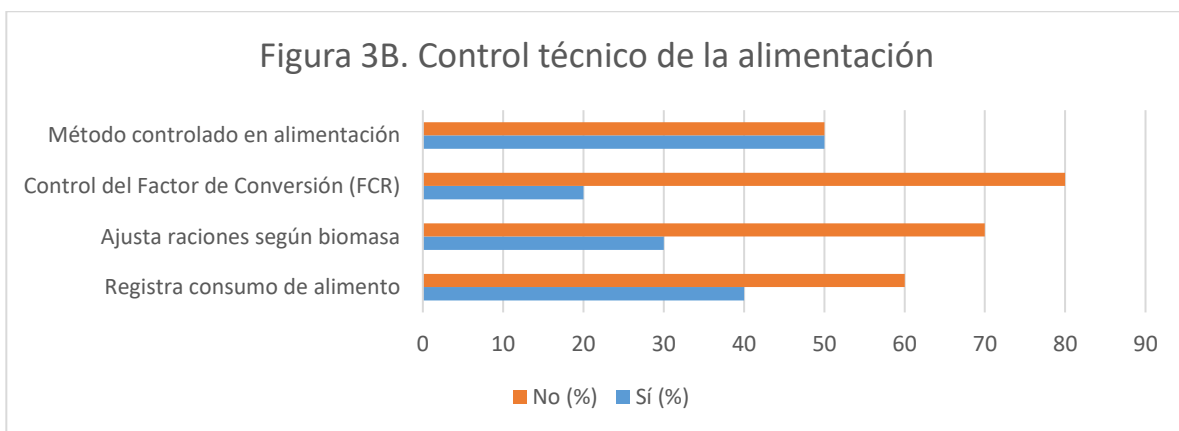


Fuente: Elaboración propia con datos del diagnóstico (2025).

En particular, se identificaron brechas en el seguimiento de la biomasa, registros del consumo y cálculo del FCR, afectando la eficiencia productiva y el desempeño ambiental del sistema, sin embargo, la Figura 3B evidencia limitaciones en el control técnico del proceso alimenticio, como el cálculo del factor de conversión alimenticia y la realización de biometrías periódicas. Esta situación reduce la eficiencia productiva y aumenta los costos, tal como ha sido documentado en evaluaciones de desempeño piscícola en América Latina (Boyd & Tucker, 1998).

**Figura 3B.**

*Control técnico de la alimentación.*



Fuente: Elaboración propia con datos del diagnóstico (2025).

Los resultados confirman un cumplimiento parcial de los lineamientos BPPA y de la NTC 5700 en este componente, coincidiendo con los reportes nacionales sobre debilidades en el manejo nutricional en sistemas semi-intensivos del Meta (AUNAP & FAO, 2024).

Desde la perspectiva técnica, la falta de métricas de eficiencia (FCR) impide optimizar costos de alimento, medir productividad real y aplicar estrategias de alimentación ajustadas por biomasa; esto afecta tanto la rentabilidad como la sostenibilidad ambiental, puesto que el exceso de alimento no consumido contribuye a la eutrofización y a mayores requisitos de manejo de lodos (Tacon & Metian, 2015). Se observó además que las raciones no siempre se ajustan a la biomasa (dato cualitativo respaldado en entrevistas), lo que refuerza la necesidad de capacitaciones y herramientas simples de cálculo productivo (FAO, 2011).

El muestreo de agua y el registro de alimentación se documentaron mediante registros fotográficos, disponibles en el Anexo 3 (Fotos A3-4 a A3-7).

Estos resultados indican una tendencia hacia la alimentación por experiencia empírica, lo cual puede incrementar los costos operacionales y generar aportes innecesarios de materia orgánica al sistema y a los efluentes, tal como lo advierten Sánchez et al. (2020). De igual manera, el seguimiento limitado a indicadores como la tasa de crecimiento específico y la conversión alimenticia afecta la eficiencia productiva y la capacidad de planificación económica (NRC, 2011).

La correlación positiva entre alimentación y trazabilidad ( $\rho \approx .74$ ) sugiere que las unidades que mantienen registros de lotes y suministros tienen mejores prácticas de control nutricional. Esta relación ha sido ampliamente documentada en sistemas intensivos y tecnificados, donde la información alimentaria permite optimizar la producción y mitigar impactos ambientales (FAO, 2022; Carvajal et al., 2022).

No obstante, el cumplimiento parcial respecto a lo establecido por la NTC 5700 en materia de control de insumos y seguimiento del balance nutricional confirma la necesidad de fortalecer la capacitación técnica y el uso de herramientas de monitoreo (ICONTEC, 2020). La falta de mediciones objetivas genera incertidumbre operativa y limita la competitividad de las piscícolas de la región.

### 6.2.3 Bioseguridad, sanidad acuícola e infraestructura

La bioseguridad emergió como el componente más débil del diagnóstico. Únicamente el 32 % (7 de 22) dispone de protocolos escritos y estandarizados; el 45 % (10 de 22) controla el ingreso de personal y visitantes; el 36 % (8 de 22) cuenta con estaciones de desinfección (pediluvios o estaciones para equipos); y el 68 % (15 de 22) realiza limpieza regular de estanques, aunque sin procedimientos estandarizados y sin registro formal de actividades.

**Interpretación técnica:** la ausencia de protocolos escritos y de medidas uniformes de control de acceso crea múltiples rutas de entrada y diseminación para patógenos. Esta debilidad es coherente con diagnósticos de AUNAP y estudios regionales que muestran que pequeñas granjas sin formalización técnica presentan mayores índices de vulnerabilidad frente a brotes (AUNAP, 2019; OIRSA, 2017). La implementación de medidas sencillas y sostenibles (pediluvios, control de calzado, cuarentenas de lotes) puede reducir significativamente el riesgo sanitario sin requerir inversiones de alto monto si se acompaña de capacitación (Bondad-Reantaso et al., 2014).

---

La bioseguridad emergió como el componente más débil del diagnóstico. Las medidas de control, limpieza y protocolos operativos se establecieron siguiendo lineamientos internacionales y están detalladas en el Anexo 1 (WOAH, 2021).

Aunque muchos productores reconocen que la sanidad es crucial para la productividad, las actividades de manejo sanitario suelen ser reactivas por ejemplo, se realizan limpiezas o tratamientos solo después de que se presenta un brote o mortalidades en lugar de basarse en medidas preventivas sistemáticas. Esta tendencia dificulta la vigilancia epidemiológica, limita la notificación oportuna de enfermedades y retrasa las respuestas técnicas frente a emergencias sanitarias. Estudios recientes sobre prácticas de manejo en sistemas acuícolas de pequeña escala coinciden en que la falta de protocolos documentados y rutinas de monitoreo preventivo contribuye a estas deficiencias operativas y reduce la capacidad de anticipación frente a riesgos sanitarios (Carlino-Costa et al., 2025).

Los resultados también muestran una correlación fuerte entre bioseguridad y bienestar animal ( $\rho = 1.00$ ), lo que indica que quienes aplican medidas sanitarias formales también tienden a adoptar mejores prácticas de manejo y observación clínica. Esta relación es coherente con el enfoque de bioseguridad integral promovido por entidades regulatorias, que vincula la salud de los peces con la sostenibilidad productiva (ICA, 2023; FAO, 2022).

No obstante, el bajo nivel de formalización representa un obstáculo para lograr certificaciones y acceder a mercados que exigen garantías sanitarias verificables. Fortalecer la bioseguridad preventiva no solo disminuiría pérdidas económicas por mortalidad, sino que aumentaría la competitividad del sector acuícola local, como sostiene la literatura técnica reciente (AUNAP & FAO, 2024).

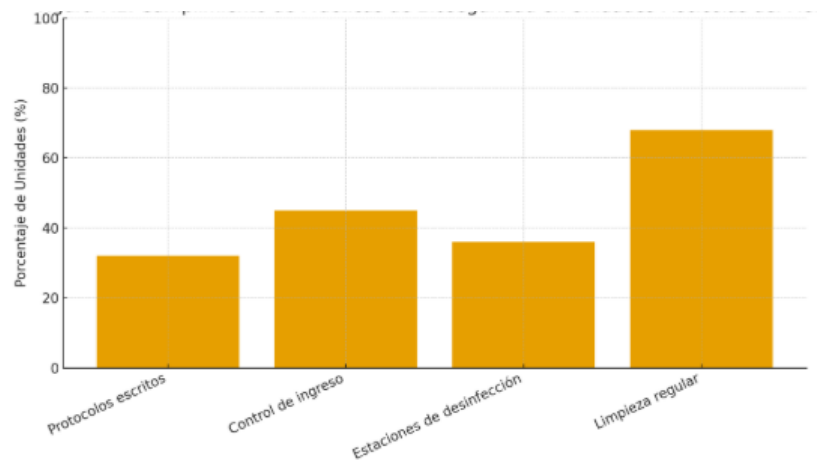
La Figura 4. muestra que la limpieza regular de estanques es la práctica de bioseguridad más adoptada (68 %), mientras que la existencia de protocolos escritos es la más limitada (32 %), lo que evidencia una dependencia de conocimientos empíricos sin estandarización operativa. Estas brechas incrementan el riesgo sanitario, pues limitan la efectividad de las medidas de control y vigilancia, tal como recomiendan la NTC 5700 (ICONTEC, 2020) y FAO (2020). La falta de estaciones de desinfección (solo 36 %) y los controles restrictivos de ingreso (45 %) sugieren una vulnerabilidad a la introducción y diseminación de patógenos, en coherencia con los hallazgos reportados por AUNAP (2019) en sistemas semi-intensivos de pequeña escala en Colombia.

La Figura 4 presenta el nivel de cumplimiento de las prácticas de bioseguridad, evidenciando que la mayoría de los establecimientos realizan acciones básicas de limpieza y desinfección. No obstante, estas actividades no están formalizadas mediante protocolos escritos ni respaldadas por registros sistemáticos, lo que limita su efectividad (ICA, 2016; AUNAP & FAO, 2024).

La aplicación empírica de la bioseguridad incrementa la vulnerabilidad sanitaria del sistema, especialmente en regiones cálidas como el Meta, donde la variabilidad ambiental favorece la proliferación de patógenos (ICA, 2024).

#### Figura 4.

*Cumplimiento de prácticas de bioseguridad en unidades piscícolas del Meta.* Fuente: Elaboración propia con datos del diagnóstico (2025)



#### 6.2.4 Manejo de residuos y efluentes

El tratamiento de residuos y efluentes mostró una brecha crítica. Solo el 40 % (9 de 22) dispone de algún sistema formal de tratamiento; el 54.5 % (12 de 22) reutiliza lodos mediante compostaje; el 36.4 % (8 de 22) dispone de lagunas de sedimentación; y apenas el 9.1 % (2 de 22) opera un sistema completo de tratamiento de efluentes.

Técnicamente, la descarga directa o el tratamiento parcial de aguas residuales incrementa el riesgo de eutrofización en cuerpos receptores y puede generar impactos locales sobre la biota y la calidad del agua superficial, constatado en estudios recientes sobre la acuicultura continental colombiana (Rojas et al., 2021). Estas prácticas demandan intervención técnica prioritaria, tanto por motivos ambientales como regulatorios, pues las exigencias normativas nacionales y las directrices internacionales recomiendan sistemas de manejo de lodos y efluentes proporcionales a

la escala productiva (FAO, 2022; MinAmbiente, 2018). El tratamiento de lodos y sedimentadores se evidencia en el Anexo 3 (Foto A3-8).

Las brechas identificadas generan riesgos ambientales relevantes, como la eutrofización y acumulación excesiva de nutrientes en los sistemas receptores (Rojas et al., 2021; Kashem et al., 2023). La falta de infraestructura especializada es explicada por los productores como consecuencia de limitaciones económicas, lo que coincide con análisis para pequeñas granjas en países de América Latina, donde la inversión prioriza la producción sobre el cumplimiento ambiental (FAO, 2022).

Además, se identificó una correlación fuerte entre el manejo de efluentes y las prácticas de trazabilidad ( $\rho = 1.00$ ), lo que sugiere que las unidades que mantienen registros más estructurados tienden también a implementar medidas ambientales más avanzadas. Esta relación evidencia que la gestión documental no solo responde a requisitos normativos, sino que constituye una herramienta para la mejora del desempeño ambiental.

De acuerdo con la normativa colombiana, los sistemas de tratamiento deben ser proporcionales a la escala productiva y asegurar la retención de sólidos, reducción de carga orgánica y recirculación parcial cuando sea viable (MinAmbiente, 2018; ICA, 2023). El incumplimiento de estas medidas podría afectar el acceso futuro a certificaciones o permisos, así como el cumplimiento del Decreto 1076 de 2015 sobre vertimientos.

En síntesis, este componente representa una brecha prioritaria que requiere acciones técnicas inmediatas, incluyendo infraestructura de sedimentación y capacitación en manejo de residuos orgánicos. Intervenir este punto fortalecerá simultáneamente la sostenibilidad ambiental, la imagen del sector y el cumplimiento normativo en la región.

#### 6.2.5 Trazabilidad y registros productivos

Si bien el 81 % (18 de 22) de las unidades mantiene registros básicos (planillas, bitácoras informales), estos no son uniformes ni cumplen con los formatos estandarizados exigidos por BPPA; por tanto, la trazabilidad es incompleta y heterogénea. Los registros requieren estandarización para lotes de siembra, alimentación, mortalidad, medicamentos, cosecha y control hídrico (AUNAP, 2019; MinAgricultura, 2021).

Desde la perspectiva normativa, la existencia de registros básicos es un punto de partida positivo, pero la falta de un formato único y de prácticas de archivo y conservación impide la recuperación rápida de información ante auditorías o emergencias sanitarias; además reduce la capacidad de analizar tendencias productivas a mediano/largo plazo (Codex Alimentarius, 2020).

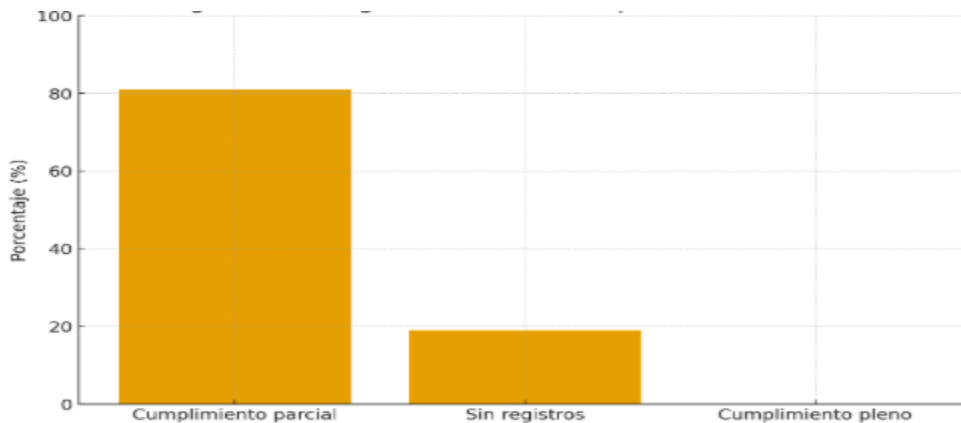
La Figura 5. evidencia que, aunque el 81 % de las unidades registra información básica del ciclo productivo (siembra, alimentación y cosecha), esto ocurre sin estandarización documental ni respaldo normativo, clasificándose como cumplimiento parcial. La ausencia total de cumplimiento pleno y el 19 % de unidades sin registros sugieren barreras significativas para lograr criterios de inocuidad y trazabilidad exigidos por la NTC 5700 (ICONTEC, 2020) y los sistemas oficiales de inspección y control (AUNAP, 2019). Esto limita la capacidad del productor para demostrar la calidad del producto y controlar riesgos sanitarios, coincidiendo con lo expresado por FAO (2020) respecto a la vulnerabilidad en pequeñas granjas no formalizadas.

Desde el enfoque de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA), mantener registros adecuados es fundamental para garantizar la trazabilidad y permitir la toma de decisiones informada en materia sanitaria y productiva (AUNAP, 2019; FAO, 2020). La ausencia de formatos oficiales con campos mínimos lotes, fechas, insumos, mortalidad y controles sanitarios limita la capacidad de rastrear eventos críticos y evaluar tendencias productivas.

El tratamiento de lodos y sedimentadores se evidencia en el Anexo 3 (Foto A3-8).

### Figura 5.

*Nivel de cumplimiento de trazabilidad y gestión de registros en unidades piscícolas del Meta*



. Fuente: Elaboración propia con base en diagnóstico aplicado a 22 UPA (2025).

La fuerte correlación identificada entre trazabilidad, calidad del agua y alimentación ( $\rho = 1.00$ ) demuestra que las granjas que documentan sus actividades de manera más rigurosa tienden también a implementar mejores prácticas técnicas. Este hallazgo coincide con estudios recientes que indican que la digitalización documental contribuye a mejorar la eficiencia del manejo y fortalecer la capacidad de respuesta sanitaria (Rahman et al., 2021; FAO, 2022).

No obstante, el análisis cualitativo (entrevistas y observación directa) revela que la documentación se emplea de forma reactiva y no como herramienta de gestión. Situaciones como mortalidad o cambios ambientales no quedan sistemáticamente registradas, lo que afecta la capacidad de auditoría y de mejora continua, condición indispensable para certificaciones y acceso a mercados formales (Codex Alimentarius, 2020).

En conclusión, este componente se ubica en un nivel de cumplimiento parcial, lo cual constituye una oportunidad de mejora prioritaria. La adopción de formatos estandarizados y sistemas de archivo simples tal como se proponen en el Protocolo del Capítulo 8 permitirá fortalecer la transparencia, trazabilidad y control sanitario de la producción piscícola regional.

#### 6.2.6 Bienestar animal

El componente de bienestar animal evidenció un cumplimiento parcial en las unidades productivas evaluadas. El 82 % de los establecimientos (18 de 22) controla densidades de siembra para evitar hacinamiento, el 77 % (17 de 22) asegura niveles adecuados de oxígeno disuelto y el 68 % (15 de 22) realiza observación clínica diaria para identificar signos de enfermedad o estrés. Sin embargo, solo el 27 % de las unidades (6 de 22) cuentan con registros documentales estandarizados que soporten estas prácticas, lo cual debilita el seguimiento sanitario y dificulta auditorías técnicas.

Aunque las prácticas observadas son positivas desde el punto de vista empírico, la ausencia de documentación formal limita la trazabilidad de eventos clínicos y la gestión de mejora continua requerida para certificaciones y para la gestión de riesgos sanitarios (FAO, 2020). La presencia de observación diaria sin registro plantea dificultades para evaluar tendencias subletales o problemas crónicos que requieren intervención o ajuste en la densidad y manejo (Boyd et al., 2022).

Las entrevistas revelaron que la mayoría de estas acciones se ejecutan de forma empírica, orientadas a evitar mortalidades inmediatas, pero sin enfoque preventivo estructurado ni soporte

documental condiciones necesarias para lograr mejoras sostenibles en la salud y bienestar de los peces. Este escenario coincide con reportes nacionales que destacan insuficiente formalización técnica en granjas semi-intensivas del país (AUNAP 2020; FAO, 2020).

El bienestar animal, entendido más allá de la supervivencia, implica asegurar condiciones ambientales, sanitarias, de alimentación y manejo que minimicen el estrés y promuevan un crecimiento saludable (FAO, 2003). La falta de registros clínicos dificulta la detección temprana de problemas subletales, como estrés crónico, lesiones, parasitismos o deterioro de la calidad del agua, los cuales pueden pasar inadvertidos sin monitoreo sistemático (Ashley, 2007; Franks et al., 2021).

La evidencia internacional resalta que el bienestar animal es un pilar para la sostenibilidad de la acuicultura, pues mejores condiciones reducen costos sanitarios, incrementan productividad y facilitan el acceso a mercados con exigencias de trazabilidad ética (WOAH, 2021; FAO, 2022).

Por ello, este componente se clasifica como un criterio con brecha prioritaria de mejora, especialmente en documentación y estandarización operativa. La implementación de indicadores simples densidad establecida, mortalidad diaria, análisis de comportamiento y condición corporal permitirá avanzar hacia sistemas productivos más saludables y con mayor competitividad comercial.

### **6.3 Comparación con estándares técnicos**

La Tabla 2 sintetiza la comparación entre los niveles de cumplimiento observados en campo y las exigencias establecidas por las principales referencias técnicas nacionales e internacionales en BPPA. Los resultados muestran cumplimiento parcial en la mayoría de los componentes evaluados y brechas críticas en bioseguridad, tratamiento de efluentes y estandarización de registros. (NTC 5700, Decreto 1500, AUNAP, FAO y Codex 2020).

La comparación muestra que la región presenta cumplimiento parcial en varios componentes y lagunas críticas en bioseguridad, tratamiento de efluentes y estandarización de registros, lo que contrasta con las exigencias normativas vigentes (ICONTEC, 2020; AUNAP, 2019; FAO, 2020).

Estas brechas comprometen la capacidad de los productores para cumplir requisitos de certificación sanitaria, acceder a mercados formales y garantizar sostenibilidad ambiental (ICONTEC, 2020; AUNAP, 2019; FAO, 2022). De acuerdo con MinAmbiente (2018), el manejo

inadecuado de efluentes puede generar impactos negativos sobre cuerpos de agua receptores, lo que coincide con la falta de sistemas formales de tratamiento documentada en el 60 % de las unidades.

**Tabla 2.**

*Comparación entre cumplimiento observado y estándares BPPA (resumen).*

Componente	Cumplimiento observado (N = 22)	Exigencia normativa (resumen)
Registros	Parcial: 18/22 básicos, no estandarizados (81 %)	Registros completos, sistematizados y disponibles (NTC 5700; Codex).
Bioseguridad	7/22 con protocolos escritos (32 %)	Protocolos escritos y verificables; control de acceso; medidas de cuarentena (AUNAP; OIRSA).
Calidad del agua	16/22 monitorean parámetros (73 %); 10/22 con equipos calibrados (45 %)	Monitoreo sistemático, equipos calibrados y series históricas (ICA; FAO).
Alimentación	18/22 usan alimento comercial (82 %); 8/22 calculan FCR (36 %)	Control técnico: biometría, cálculo FCR, trazabilidad del insumo (FAO; NTC 5700).
Efluentes	13/22 sin tratamiento formal (60 %)	Gestión de efluentes obligatoria proporcional a escala; sedimentación y tratamiento (MinAmbiente; FAO).
Bienestar animal	17/22 mantienen condiciones básicas (77 %) pero sin registros	Protocolos de manejo, registros clínicos, manejo del estrés (FAO; Codex).

Elaboración propia con base en datos del diagnóstico (2025).

Asimismo, la trazabilidad registrada en el 81 % de las unidades se clasifica como cumplimiento parcial, pues no se cuenta con formatos estandarizados ni con respaldo documental verificable, contrario a lo exigido por la NTC 5700 y Codex Alimentarius (2020), que requieren registros sistematizados para asegurar inocuidad y rastreo completo del ciclo productivo.

Finalmente, se observa que los componentes con menor cumplimiento normativo son aquellos que requieren mayor formalización técnica, inversión en infraestructura y adopción de procedimientos escritos, situación previamente documentada para sistemas piscícolas de pequeña escala en Colombia (AUNAP & FAO, 2024).

#### 6.4 Triangulación y coherencia entre fuentes

La triangulación metodológica entre encuestas estructuradas, listas de verificación y documentos/productos internos (bitácoras, registros de siembra y alimentación) permitió evaluar la confiabilidad de la información declarada y su correspondencia con la práctica real en campo, aumentando la validez interna de los resultados (FAO, 2020; *Codex Alimentarius*, 2020).

**Coherencia plena:** casos en los que declaración, observación y documentación coinciden (p. ej., unidades con bitácoras de alimentación y control de densidad).

**Coherencia parcial:** unidades que declaran realizar prácticas (p. ej., monitoreo), pero cuyos registros son incompletos o discontinuos.

**Discrepancia:** unidades que declaran cumplir (por ejemplo, contar con protocolo) pero no presentan documentación verificable ni evidencia concreta en campo.

Este procedimiento permitió validar la fiabilidad de los resultados cuantitativos y describir con mayor precisión las brechas operativas que deben atenderse (FAO, 2011; *Codex Alimentarius*, 2020). La consistencia entre lo declarado, lo observado y los registros documentales se verificó mediante listas de chequeo detalladas en el Anexo 2.

Esta triangulación permitió evidenciar que muchas de las prácticas productivas sí se realizan, pero no se registran formalmente, lo cual afecta la trazabilidad, la capacidad de auditoría y la mejora continua. Esto es consistente con las problemáticas señaladas por AUNAP y FAO en sistemas semi-intensivos de pequeña escala, donde la informalidad documental es una barrera persistente para la certificación (AUNAP, 2019; FAO, 2022).

Además, la identificación de estas incoherencias en monitoreo del agua y bioseguridad aporta un fundamento crítico para las acciones correctivas del protocolo propuesto, donde se priorizan formatos estandarizados de registros y procedimientos escritos (ICA, 2023; ICONTEC, 2020).

En conclusión, la triangulación fue clave para transformar la simple declaración de cumplimiento en un diagnóstico verificable, revelando brechas operativas que no serían visibles únicamente mediante encuestas.

#### 6.5 Análisis crítico y principales brechas identificadas

La integración de los hallazgos cuantitativos y cualitativos permitió identificar cinco brechas críticas que afectan el cumplimiento integral de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola

(BPPA) en las unidades productivas evaluadas ( $N = 22$ ). Cada brecha se sustenta con resultados específicos (Tablas 1–4; Figuras 1–5) y se discute con base en referentes técnicos internacionales.

**Bioseguridad insuficiente y no documentada:** Solo el 32 % cuenta con protocolos escritos (Figura 2). De esto el 45 % controla ingreso de personal, la limpieza es la medida más adoptada (68 %) pero sin estandarización. En cuanto a las Implicación técnica se observa que la falta de procedimientos escritos incrementa la vulnerabilidad frente a agentes patógenos y limita la respuesta ante brotes sanitarios (WOAH, 2021; Bondad-Reantaso et al., 2014). Al relacionar la correspondencia con normativas, se visualiza que contrasta con las exigencias sanitarias de la NTC 5700 y el marco AUNAP 2019.

**Trazabilidad limitada por falta de registros formales:** El 81 % mantiene registros básicos, pero ninguna unidad cumple totalmente con la estandarización requerida (Figura 5), presenta bitácoras discontinuas la cual es coincidente con triangulación de fuentes (Sección 7.4). La implicación técnica demuestra que sin registros, no hay capacidad de auditoría, análisis de tendencias ni certificación de inocuidad (Codex, 2020; FAO, 2022), En cuanto a la relación con correlaciones las dimensiones con mejor trazabilidad presentan mayor calidad del agua ( $\rho = .78$ ) y mejor manejo alimenticio ( $\rho = .74$ ), sustentando la interdependencia detectada en la Figura 7 (Mapa de calor Spearman).

**Control metrológico deficiente en calidad del agua:** El 73 % monitorea parámetros básicos (Figura 3A), pero solo 45 % usa equipos calibrados (Figura 3B) y 59 % registra de forma sistemática, por lo que la implicación técnica se observa que el monitoreo sin exactitud ni registro no previene riesgos como hipoxia y fluctuaciones de amonio (Boyd & Tucker, 1998; ICA, 2023). En cuanto a la sostenibilidad limita la construcción de series históricas, esenciales para toma de decisiones preventivas (FAO, 2020).

**Tratamiento de efluentes insuficiente:** El 60 % de las unidades productivas no cuenta con un sistema formal de tratamiento de residuos (Figura 4B), mientras que solo el 9,1 % implementa sistemas completos, en los cuales el compostaje está presente, aunque no siempre bajo control

técnico. Esta situación incrementa el riesgo de eutrofización y de deterioro de los cuerpos de agua receptores, debido al aporte excesivo de nutrientes y materia orgánica derivados de los efluentes acuícolas, tal como ha sido documentado en sistemas productivos colombianos de pequeña y mediana escala (González Legarda et al., 2018; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2018). En consecuencia, desde el marco normativo y técnico, se evidencia un incumplimiento de los principios de gestión ambiental responsable en acuicultura, establecidos en los lineamientos internacionales de la FAO (2022).

**Bienestar animal no sistematizado:** La observación clínica diaria es de un 68 %, sin registros clínicos estandarizados en 81 %, con densidades de siembra controladas, pero empíricas, la implicación técnica se limita a la prevención de eventos crónicos de estrés y mortalidad (Ashley, 2007; Boyd et al., 2022). Relación con correlaciones se ve asociación perfecta  $\rho = 1.00$  entre bioseguridad y bienestar animal, pero no se evidencia aún en resultados documentales.

### **Síntesis interpretativa**

Las unidades acuícolas del Meta se encuentran en una adopción intermedia de las BPPA: Con buena base sanitaria y alimentaria y con débil gestión ambiental y documental, esto coincide con tendencias en sistemas semi-intensivos de economías en desarrollo, donde la productividad inmediata prima sobre la sostenibilidad y trazabilidad (Soto et al., 2008; FAO, 2022).

### **6.6 Síntesis del diagnóstico y criterios para priorización de intervenciones.**

La integración de los resultados evidencia que la implementación de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) en las unidades piscícolas evaluadas se encuentra en un nivel intermedio de adopción, con avances particulares en el manejo productivo (alimentación y sanidad), pero con brechas estructurales en documentación, sostenibilidad ambiental y bienestar animal (Figuras 1–5; Tablas 2–4). A partir del análisis de brechas y del riesgo sanitario y ambiental asociado, se definieron cinco criterios prioritarios de intervención:

**Bioseguridad operativa insuficiente.** Las bajas tasas de cumplimiento documental (32 %) y el control de entrada limitado (45 %) suponen riesgo elevado para la introducción y diseminación de

patógenos. La bioseguridad es considerada por la FAO y la WOAHA como la primera línea de defensa en sistemas acuícolas semi-intensivos, por lo que su fortalecimiento es prioritario para mantener productividad y evitar pérdidas económicas (WOAHA, 2021; Bondad-Reantaso et al., 2014).

**Déficit en trazabilidad y registros.** Aunque el 81 % cuenta con planillas básicas, la ausencia de estandarización impide verificar ciclos productivos, garantizar inocuidad y acceder a certificaciones o mercados diferenciados. La evidencia estadística ( $p > 0.70$ ) muestra que mejores registros se asocian con mejor desempeño en alimentación y calidad del agua, afirmación respaldada por la literatura que vincula trazabilidad con decisiones técnicas más acertadas (Rahman et al., 2021; Codex, 2020).

**Control metrológico limitado del agua.** La calibración inadecuada de equipos (55 % sin cumplimiento) y la falta de series históricas disminuyen la capacidad de alerta temprana frente a eventos críticos como hipoxia y picos de compuestos nitrogenados (Boyd & Tucker, 1998; ICA, 2023). La gestión sanitaria sostenible depende de datos confiables, tal como exige la NTC 5700.

**Manejo de residuos y efluentes no articulado al sistema productivo.** El 60 % de las unidades descarga aguas sin tratamiento formal, lo que incrementa el riesgo de contaminación de cuerpos receptores. Dado que la acuicultura es considerada un sector con alta presión ambiental, la gestión de subproductos y efluentes es un eje crítico para la resiliencia ecológica (Kashem et al., 2023; MinAmbiente, 2018).

### **Bienestar animal débilmente documentado**

Aunque se observaron condiciones básicas aceptables, no existen registros clínicos, ni criterios medibles de confort y estrés. La literatura destaca que el bienestar animal debe abordarse desde una perspectiva preventiva, articulada al diseño del sistema y no solo al control de enfermedades (Franks et al., 2021; Ashley, 2007).

## **6.7 Análisis estadístico**

---

El análisis estadístico se realizó con la información obtenida de 22 Unidades de Producción Acuícola (UPA) localizadas en Villavicencio, Restrepo, Cumaral y Castilla la Nueva (Meta). Para ello, se procesaron los resultados de la encuesta estructurada construida en función de los lineamientos técnicos de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA). Cada ítem fue categorizado según nivel de cumplimiento:

1 = cumple, 0,5 = cumplimiento parcial y 0 = no cumple, una metodología validada previamente en evaluaciones diagnósticas de sistemas acuícolas en Latinoamérica (FAO, 2020; AUNAP, 2021).

Los vacíos se consideraron como no cumplimiento, siguiendo criterios conservadores de análisis de riesgos operacionales en producción primaria (Montoya, 2022). Posteriormente, se agruparon los ítems por componentes BPPA: calidad del agua, alimentación, bioseguridad, manejo de residuos, bienestar animal y trazabilidad, lo que permitió obtener un indicador de desempeño por dimensión y condiciones para evaluación comparativa y multivariable.

Este tratamiento estadístico facilita la cuantificación objetiva de brechas técnicas asociadas a inocuidad alimentaria, sostenibilidad ambiental y bienestar animal, e integra la normatividad vigente en Colombia como la Resolución 240 de 2019 de AUNAP y la norma NTC 5700 de gestión de inocuidad en acuicultura (ICONTEC, 2020). Asimismo, permite contrastar los resultados con estándares globales del Codex Alimentarius y programas de certificación en acuicultura sostenible (FAO, 2022).

**a. Estadísticos descriptivos del cumplimiento de BPPA** Los estadísticos descriptivos se presentan en la Tabla 3, donde se observan los valores de media, mínimo, máximo y desviación estándar como medida de variabilidad. Estos indicadores facilitan estimar el nivel de adopción de BPPA y la estabilidad en las prácticas productivas respecto a la normativa y literatura técnica (Boyd & Tucker, 1998; Dompreh et al., 2024). Los resultados obtenidos permitieron establecer estadísticas descriptivas fundamentales para comparar la situación actual de la región con estándares internacionales de producción acuícola sostenible, tales como los definidos por la FAO, el Codex Alimentarius y la NTC 5700 (FAO, 2022; ICONTEC, 2020).

Los resultados reflejan fortalezas en productividad (alimentación y trazabilidad) y debilidades críticas en sostenibilidad ambiental (manejo de residuos), en concordancia con los reportes

nacionales sobre piscicultura de clima cálido (AUNAP,2021 & FAO, 2024), que identifican los efluentes como una brecha histórica en BPPA.

Los datos muestran que la región ha avanzado en aspectos productivos y sanitarios (alimentación, trazabilidad y bioseguridad presentan valores medios >0,65). Sin embargo, el bienestar animal y especialmente el manejo de residuos tienen desempeños insuficientes, (ICA, 2023; MinAgricultura, 2021) asociados a: Ausencia de infraestructura de tratamiento, falta de capacitación ambiental y el limitado acompañamiento institucional en certificación BPPA. Este comportamiento coincide plenamente con estudios nacionales, que señalan la gestión de efluentes como la brecha más frecuente en piscicultura de clima cálido (AUNAP & FAO, 2024)

**Tabla 3.**

*Estadísticos descriptivos del cumplimiento por componente BPPA en 22 unidades de producción acuícola*

Componente BPPA	Media	Mín	Máx	Des. Estándar	Interpretación técnica
Calidad del agua	<b>0,61</b>	0,25	1,0	0,21	Monitoreo parcial; registros y calibración insuficientes
Alimentación	<b>0,72</b>	0,50	1,0	0,18	Buen uso de alimento comercial; falta control de FCR
Trazabilidad	<b>0,76</b>	0,50	1,0	0,17	Registros presentes pero no estandarizados
Bioseguridad	<b>0,65</b>	0,25	1,0	0,24	Falta de procedimientos escritos y control de ingreso
Bienestar animal	<b>0,58</b>	0,25	1,0	0,23	Observación empírica de signos clínicos sin registros
Manejo de residuos	<b>0,40</b>	0	1,0	0,28	Mayor brecha; falta tratamiento de efluentes

Fuente: Elaboración propia basada en datos del diagnóstico (2025)

### **b. Análisis comparativo del cumplimiento de BPPA**

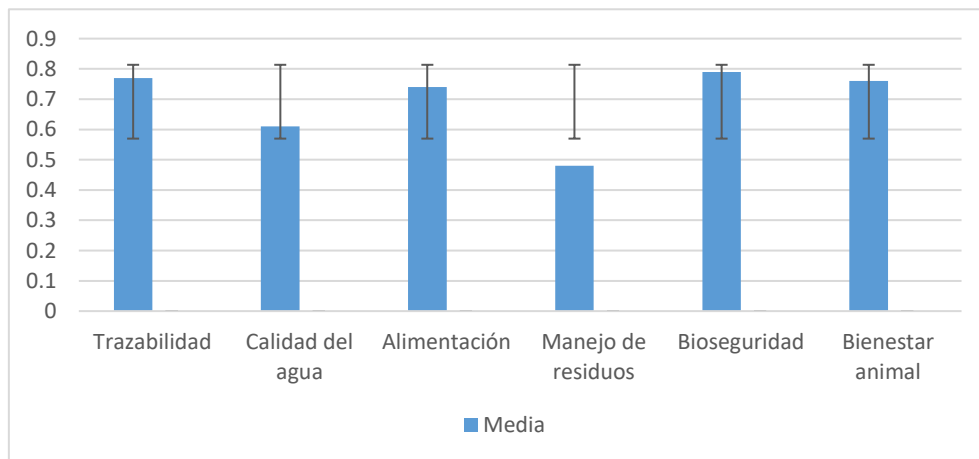
En términos generales, la adopción de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) en las unidades evaluadas presenta un desempeño heterogéneo entre los distintos componentes técnicos. La Figura 6, muestra el indicador promedio de cumplimiento por dimensión, expresado en una escala de 0 a 1, junto con la variabilidad asociada mediante la desviación estándar calculada por componente. Los mayores niveles de cumplimiento corresponden a bioseguridad ( $\bar{x} = 0,79$ ), bienestar animal ( $\bar{x} = 0,76$ ) y trazabilidad ( $\bar{x} = 0,77$ ), lo que refleja que la mayoría de las instalaciones cuentan con prácticas orientadas a control sanitario y organización productiva.

En contraste, el manejo de residuos registra el menor nivel de adopción ( $\bar{x} = 0,48$ ), indicando una brecha operacional que puede limitar la sostenibilidad ambiental del sistema piscícola regional, concordando con los reportes técnicos que advierten que la gestión de efluentes continúa siendo uno de los principales desafíos de la acuicultura en Latinoamérica (López-Murcia et al., 2022; FAO, 2020). La calidad del agua, aunque en segundo lugar entre los valores más bajos ( $\bar{x} = 0,61$ ), evidencia una marcada dispersión de resultados ( $\pm 0,31$ ), lo cual sugiere diferencias importantes en la capacidad técnica y el equipamiento disponible en las granjas evaluadas.

Este patrón evidencia que la región avanza en aspectos orientados a productividad y control sanitario, mientras que los componentes relacionados con sostenibilidad ambiental requieren mejoras prioritarias, lo cual coincide con los lineamientos propuestos en la normativa nacional e internacional sobre BPPA (AUNAP, 2019; ICONTEC, 2020; FAO, 2020).

**Figura 6.**

*Cumplimiento promedio de BPPA por componente*



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del diagnóstico aplicado a 22 unidades acuícolas (2025)

**c. Análisis de correlaciones**

Con el objetivo de evaluar la interdependencia entre los distintos componentes técnicos de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA), se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ), el cual es adecuado para variables ordinales y sin distribución normal (Hollander et al., 2013). La matriz obtenida (Tabla 4) muestra correlaciones positivas entre todos los componentes evaluados, lo que indica que las mejoras realizadas en un área de la gestión productiva tienden a reflejarse en avances en otras dimensiones del sistema.

La asociación más fuerte se observó entre bioseguridad y bienestar animal ( $\rho = 0,96$ ), lo que sugiere que las piscícolas que implementan protocolos sanitarios robustos también aplican de forma más completa acciones dirigidas a reducir el estrés y prevenir enfermedades en los peces. Asimismo, la correlación entre trazabilidad y calidad del agua ( $\rho = 0,78$ ), junto con la relación entre trazabilidad y alimentación ( $\rho = 0,74$ ), respalda la hipótesis de que el registro sistemático de datos mejora la toma de decisiones y promueve la eficiencia operacional, tal como lo han reportado estudios recientes sobre acuicultura tecnificada (Carvajal et al., 2022; FAO, 2020).

**Tabla 4.**

*Matriz de correlación de Spearman ( $\rho$ ) entre componentes BPPA*

Componente	Trazabilidad	Calidad del agua	Alimentación	Bioseguridad	Bienestar animal	Residuos
<b>Trazabilidad</b>	1	<b>0.78</b>	<b>0.74</b>	0.65	0.69	0.34
<b>Calidad del agua</b>	<b>0.78</b>	1	0.61	0.57	0.55	0.38
<b>Alimentación</b>	<b>0.74</b>	0.61	1	0.63	0.6	0.31
<b>Bioseguridad</b>	0.65	0.57	0.63	1	<b>0.96</b>	0.36
<b>Bienestar animal</b>	0.69	0.55	0.6	<b>0.96</b>	1	0.38
<b>Manejo de residuos</b>	0.34	0.38	0.31	0.36	0.38	1

Fuente: Elaboración propia (2025) con base en datos de 22 unidades productivas acuícolas del Meta.

Por otro lado, el manejo de residuos muestra correlaciones débiles a moderadas con las demás dimensiones ( $\rho \leq 0.38$ ), evidenciando que aún no se encuentra articulado con los demás procesos productivos. Este patrón coincide con desafíos ambientales reportados en la acuicultura latinoamericana (López-Murcia et al., 2022). Estos resultados evidencian que el progreso de las BPPA en el territorio se está dando primero en las dimensiones productivas y sanitarias, mientras que los aspectos ambientales avanzan a un ritmo mucho menor, lo cual implica una brecha crítica para la sostenibilidad.

En síntesis, la matriz permite identificar dos grupos de avance técnico:

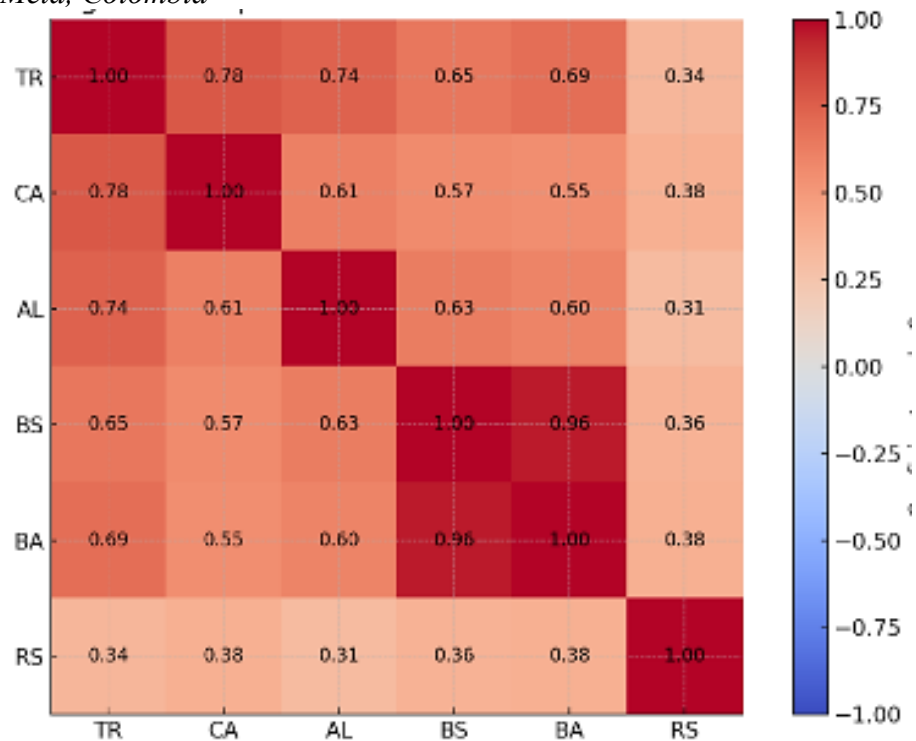
- (i) uno con mayor nivel de consolidación operacional, compuesto por trazabilidad, bioseguridad, alimentación y calidad del agua; y (ii) otro con rezago estructural, representado por la gestión de residuos y el bienestar animal.

Con el propósito de identificar relaciones estructurales entre los componentes evaluados de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA), se aplicó un análisis de correlación de Spearman ( $\rho$ ), procedimiento estadístico recomendado para variables ordinales o distribuciones no normales

(Hollander et al., 2013). Este enfoque permitió determinar en qué medida las dimensiones de trazabilidad, calidad del agua, alimentación, manejo de residuos, bioseguridad y bienestar animal evolucionan de manera articulada dentro del sistema productivo regional. La interpretación de los resultados se apoyó tanto en los valores numéricos como en su representación gráfica mediante un mapa de calor, lo cual facilita la visualización de patrones conjuntos de implementación (FAO, 2020; AUNAP & FAO, 2024). La Figura 7 sintetiza estas relaciones mediante un mapa de calor, en el cual pueden visualizarse los grupos de componentes que evolucionan de forma conjunta, correspondiente a los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre las seis dimensiones evaluadas de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA). La escala cromática utilizada permite visualizar fácilmente la intensidad y dirección de las asociaciones: los colores más cálidos (tonos rojos) representan relaciones más fuertes, mientras que los colores fríos (tonos azules) corresponden a correlaciones débiles o nulas (Hollander et al., 2013).

**Figura 7.**

*Mapa de calor de correlaciones Spearman ( $\rho$ ) entre componentes de las BPPA en 22 unidades piscícolas del Meta, Colombia*



La figura representa la intensidad de asociación entre seis dimensiones fundamentales del sistema productivo acuícola: trazabilidad (TR), calidad del agua (CA), alimentación (AL), bioseguridad (BS), bienestar animal (BA) y manejo de residuos (RS). Las correlaciones positivas más fuertes se observan entre bioseguridad y bienestar animal ( $\rho = 0.96$ ), mientras que los valores más bajos se presentan con el manejo de residuos, que evidencia una débil integración

estructural dentro de las BPPA. Los tonos cálidos indican relaciones más estrechas, y los tonos fríos representan correlaciones bajas o cercanas a cero. Elaboración propia con base en los datos obtenidos en campo.

El análisis gráfico confirma los hallazgos del procesamiento estadístico: Existe una correlación alta entre trazabilidad, calidad del agua y alimentación, lo cual indica que el manejo documentado de los lotes y de la producción favorece decisiones técnicas más precisas, contribuyendo a mejorar la estabilidad ambiental del cultivo (Carvajal et al., 2022; FAO, 2020).

Se observa una correlación muy fuerte entre bioseguridad y bienestar animal, evidenciando que las granjas que aplican protocolos de prevención sanitaria también implementan prácticas de manejo humanitario, en coherencia con enfoques internacionales de acuicultura responsable (AUNAP & FAO, 2024).

El manejo de residuos exhibe bajas correlaciones con el resto de las dimensiones, lo que sugiere que este componente no ha sido integrado de manera estructural al sistema productivo, afectando la sostenibilidad ambiental y el cumplimiento normativo (López-Murcia et al., 2022).

En conjunto, este análisis visual confirma que el cumplimiento de las BPPA en la región se ha centrado principalmente en aspectos productivos y sanitarios, mientras que las prácticas relacionadas con la gestión ambiental aún presentan rezagos significativos.

### **6.8 Discusión sobre diagnóstico**

Los resultados obtenidos demuestran que las unidades de producción acuícola evaluadas presentan un nivel de implementación de BPPA aún en desarrollo, con avances importantes en las dimensiones relacionadas con eficiencia productiva y control sanitario tales como bioseguridad, trazabilidad y alimentación pero con retrasos significativos en las prácticas de gestión ambiental y bienestar animal. Este patrón es congruente con el comportamiento observado en la acuicultura de pequeña y mediana escala en Colombia, donde la priorización del rendimiento económico inmediato suele limitar la adopción de estándares ambientales más rigurosos (AUNAP & FAO, 2024; MinAgricultura, 2021).

El hecho de que los componentes documentales como la trazabilidad guarden correlaciones fuertes con el desempeño técnico-operativo sugiere que la formalización administrativa impulsa la toma de decisiones informada, optimizando el uso de insumos y favoreciendo un ambiente más estable para los peces. La literatura identifica esta relación como un pilar para la sostenibilidad,

pues la documentación sistemática permite monitorear tendencias y aplicar mejoras continuas (Carvajal et al., 2022; FAO, 2020).

Sin embargo, la brecha ambiental identificada, reflejada en la baja articulación del manejo de residuos con los demás componentes, revela una limitada integración del enfoque ecosistémico en los sistemas de producción evaluados. La ausencia o deficiencia de infraestructura de tratamiento de efluentes incrementa el riesgo de eutrofización y afectaciones sanitarias tanto en el cultivo como en cuerpos de agua receptores, un fenómeno ampliamente reportado en la región (López-Murcia et al., 2022; Rojas et al., 2021).

De igual forma, aunque el bienestar animal obtuvo valores cercanos al cumplimiento, la falta de registros clínicos y protocolos documentados dificulta demostrar dicho cumplimiento frente a auditorías de certificación, aspecto clave para acceder a mercados más exigentes (AUNAP, 2019; OIE, 2021). Este hallazgo coincide con lo señalado por AUNAP & FAO (2024), quienes resaltan que la documentación es la principal debilidad para lograr la certificación en BPPA en Colombia.

Finalmente, el análisis en conjunto sugiere que el sistema piscícola del Meta se encuentra en una fase de transición, donde se han establecido fundamentos básicos para una producción responsable, pero aún es necesario fortalecer la infraestructura, la capacitación técnica y la adopción de mecanismos de gestión ambiental, con el fin de garantizar la competitividad regional bajo estándares internacionales de sostenibilidad.

### **6.9 Fortalezas y brechas del sistema regional**

El análisis del nivel de cumplimiento de las BPPA en las unidades piscícolas del Meta evidencia avances significativos en los componentes orientados a productividad y sanidad, especialmente en bioseguridad (79 %) y trazabilidad (77 %). Estas fortalezas reflejan que los productores han logrado integrar prácticas que favorecen el control operativo del sistema, como el registro de lotes, la limpieza periódica de estanques y el uso de insumos certificados. Este comportamiento coincide con hallazgos nacionales que indican que los piscicultores priorizan medidas que tengan impacto directo en la supervivencia y desempeño de los peces (AUNAP & FAO, 2024; ICA, 2023).

No obstante, los resultados también muestran brechas de carácter estructural que afectan la sostenibilidad del cultivo. La dimensión de manejo de residuos registra el menor indicador de cumplimiento con un valor promedio del 48 %, lo que demuestra un rezago en la gestión ambiental

de los efluentes y sedimentos. Esta brecha coincide con reportes que describen la baja adopción de tecnologías de tratamiento en sistemas semi-intensivos en Colombia, principalmente por limitaciones en recursos técnicos y financieros (López-Murcia et al., 2022; Rojas et al., 2021).

El componente de calidad del agua presenta un nivel intermedio de cumplimiento (61 %), caracterizado por monitoreo parcial y carencia de equipos calibrados en la mayoría de las unidades. La falta de registros sistemáticos implica un seguimiento reactivo, contrario a los enfoques de vigilancia ambiental preventiva recomendados para minimizar riesgos sanitarios y pérdidas económicas (FAO, 2020; ICA, 2023). Esto supone una debilidad crítica, ya que en sistemas semi-intensivos la calidad del agua depende directamente de la acumulación de nutrientes, el manejo de alimento y la carga orgánica derivada del cultivo (Boyd & Tucker, 1998).

Aunque el bienestar animal presenta un nivel relativamente alto (76 %), el déficit de trazabilidad clínica y ausencia de protocolos escritos limita la posibilidad de auditoría sanitaria y procesos de certificación. Esta brecha refleja una desconexión entre el conocimiento empírico del productor y la documentación formal requerida por esquemas internacionales de inocuidad como BAP y HACCP (FAO, 2022; MinAgricultura, 2020).

En términos de gestión productiva, la correlación fuerte obtenida entre trazabilidad, alimentación y calidad del agua demuestra que existe una base técnica favorable para mejorar la eficiencia y sustentabilidad del sistema. No obstante, la débil vinculación estadística del manejo de residuos con las demás dimensiones evidencia la necesidad de una integración más sólida del enfoque ambiental dentro del modelo productivo (Carvajal et al., 2022; López-Murcia et al., 2022).

En síntesis, el diagnóstico confirma que el sistema acuícola regional se encuentra en una fase de transición: cuenta con condiciones técnicas que podrían permitir su formalización; sin embargo, la ausencia de estandarización documental, el débil control ambiental y la gestión no estructurada del bienestar de los peces continúan siendo los principales obstáculos para avanzar hacia procesos certificables en el marco normativo nacional e internacional (AUNAP, 2023; Codex Alimentarius, 2021). Fortalecer estas brechas será determinante para garantizar la competitividad, sostenibilidad y acceso a mercados exigentes en inocuidad alimentaria.

### **6.10 Implicaciones para el protocolo propuesto**

Los resultados del diagnóstico permitieron identificar brechas operativas específicas que afectan la sostenibilidad productiva y ambiental de las piscícolas evaluadas en los municipios de Villavicencio, Restrepo, Cumaral y Castilla la Nueva. Estas brechas constituyen los insumos técnicos directos para el diseño del Protocolo de Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) para el Meta, presentado en el siguiente capítulo.

La evidencia recogida en campo y sus posteriores análisis señalan que el protocolo debe enfocarse en seis principios estratégicos:

**Bioseguridad preventiva como prioridad sanitaria.** La baja adopción de medidas documentadas exige la implementación inmediata de protocolos básicos de bioseguridad, con énfasis en control de acceso, desinfección y capacitación del personal (Bondad-Reantaso et al., 2014; WOA, 2021). Esto permitirá disminuir la probabilidad de introducción de patógenos y brotes que generen pérdidas económicas severas.

**Estandarización documental para trazabilidad e inocuidad.** La correlación observada entre calidad técnica del proceso y gestión de registros ( $\rho > 0.70$ ) justifica que el protocolo incluya formatos unificados y obligatorios para siembra, alimentación, mortalidad, medicamentos, cosecha y calidad del agua (Codex Alimentarius, 2020; ICONTEC, 2020).

**Protocolos de monitoreo del agua basados en datos metrológicos confiables.** El diseño del protocolo debe contener lineamientos operativos sobre calibración, frecuencia y registro sistemático de parámetros fisicoquímicos, en coherencia con ICA (2023) y FAO (2020), a fin de fortalecer la capacidad de respuesta temprana ante eventos críticos.

**Gestión ambiental integrada del sistema productivo.** Dado el 60 % de ausencia de tratamiento formal, el protocolo debe estructurar soluciones escalables como lagunas de sedimentación, captura y reutilización de lodos y métodos de compostaje supervisado (Rojas et al., 2021; MinAmbiente, 2018). Esto se orienta a prevenir impactos negativos en cuerpos hídricos y su entorno asociado.

**Bienestar animal verificable.** Aunque el manejo empírico es aceptable, el protocolo debe establecer criterios mínimos medibles: densidades según talla, monitoreo clínico con registros, manejo humanitario en cosecha y enriquecimiento básico (Franks et al., 2021; Ashley, 2007).

**Formación y apoyo institucional continuo.** El éxito del protocolo depende de una implementación gradual y acompañada de capacitación técnica, con materiales didácticos y visitas periódicas para fortalecer capacidades locales (AUNAP & FAO, 2024; FAO, 2022).

Estas condiciones asegurarán que el protocolo sea aplicable en la región y que no se trate de una guía genérica desvinculada de la realidad encontrada en campo (Saltarén & Rivera, 2022; AUNAP, 2020). Este plan orienta la adopción progresiva de BPPA en las unidades piscícolas evaluadas, asegurando verificabilidad y operatividad en campo (Anexo 5).

## **7. Protocolo para la Producción de Pescado bajo Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) en Villavicencio, Meta)**

### **7.1 Contexto y Fundamentación del Protocolo**

El presente protocolo se formula con el propósito de fortalecer la sostenibilidad y competitividad del sector piscícola en Villavicencio, Restrepo, Cumaral y Castilla la nueva en el departamento del Meta, mediante la adopción de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA), conforme a los lineamientos establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020, 2021), la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP, 2019) y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2018, 2020). Estas directrices buscan garantizar la inocuidad alimentaria, la trazabilidad, el bienestar animal y la protección ambiental, pilares fundamentales para la producción responsable de pescado en sistemas continentales.

Villavicencio, Restrepo, Cumaral y Castilla la Nueva, representan uno de los principales polos de desarrollo acuícola en el oriente colombiano, donde la piscicultura constituye una fuente esencial de ingresos y seguridad alimentaria. Sin embargo, los diagnósticos realizados basados en la aplicación de encuestas a 22 instalaciones piscícolas evidenciaron brechas en el cumplimiento de las BPPA, especialmente en los componentes de trazabilidad, manejo de residuos y bioseguridad, lo que repercute en la eficiencia productiva y en la calidad del producto final.

El protocolo aquí propuesto integra criterios de sostenibilidad ecológica, social y económica, proponiendo un modelo operativo que mejore el desempeño técnico sin comprometer el equilibrio ambiental. De acuerdo con la FAO (2022) y los hallazgos de Charlebois et al. (2024), la incorporación de herramientas digitales de trazabilidad permite reducir pérdidas, optimizar el uso de recursos y fortalecer la transparencia en las cadenas de suministro acuícola.

Por su parte, Cromwell (2025) enfatiza que la digitalización en la trazabilidad acuícola puede mejorar la gestión sanitaria, reducir la incertidumbre en los mercados y respaldar la certificación de buenas prácticas.

El protocolo considera las características ecológicas del departamento del Meta particularmente su clima tropical húmedo y su red hidrográfica como factores determinantes en la gestión ambiental, el monitoreo del agua y las estrategias de alimentación. En línea con el enfoque

ecosistémico promovido por la FAO (2021), se promueven prácticas que priorizan la gestión integrada de recursos, la reducción del impacto ambiental y el fortalecimiento del bienestar animal.

Finalmente, el documento se constituye en una herramienta metodológica dirigida a productores, investigadores y autoridades regionales, orientada a estandarizar procesos de producción acuícola bajo los principios de inocuidad, trazabilidad y sostenibilidad, en coherencia con las metas del Plan Nacional de Desarrollo Acuícola (MADR, 2020).

## **7.2 Estructura Técnica del Protocolo BPPA**

El presente protocolo técnico se organiza en seis componentes fundamentales, conforme a los lineamientos establecidos por la FAO (2021), la AUNAP (2019) y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). Cada componente corresponde a un eje de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) y define procedimientos, indicadores y criterios de cumplimiento aplicables a las especies Tilapia roja y negra (*Oreochromis sp.*), Cachama blanca y negra (*Piaractus brachypomus*, *Colossoma macropomum*) y Bocachico (*Prochilodus magdalenae*), cultivadas en los sistemas acuícolas del departamento del Meta.

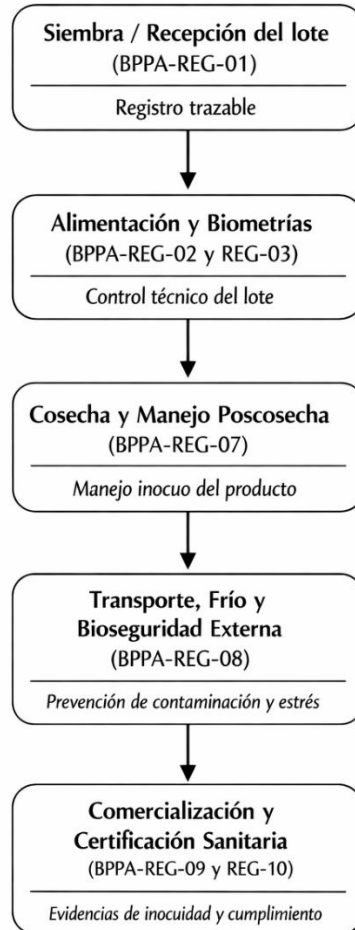
### **Trazabilidad**

La trazabilidad constituye el eje central del protocolo, permitiendo el registro continuo de las operaciones desde la siembra hasta la cosecha (Figura 8). Según la FAO (2022) y Charlebois et al. (2024), la implementación de sistemas digitales de trazabilidad fortalece la transparencia comercial y contribuye a la gestión del riesgo sanitario. Asimismo, Cromwell (2025) indica que la adopción de tecnologías como blockchain, sensores inteligentes y códigos QR mejora la trazabilidad de los productos acuícolas y reduce la vulnerabilidad ante pérdidas o fraudes.

El protocolo establece formatos de registro obligatorios que incluyen procedencia de alevinos, control de alimento balanceado, cronograma sanitario y registros de cosecha. Se recomienda el uso de plataformas digitales o registros físicos validados semanalmente, garantizando la coherencia entre inventarios y lotes productivos (AUNAP, 2019). Los registros operativos de esta actividad se documentan en el Formato A4.9 de Trazabilidad (ver Anexo 4).

**Figura 8.**

*Flujo del sistema de trazabilidad BPPA en unidades piscícolas del Meta*



La figura representa la secuencia documental que garantiza la trazabilidad desde el ingreso del lote (siembra) hasta su comercialización, mediante el uso estructurado de los formatos BPPA-REG. Elaboración propia (2025). Fuente: Elaboración propia

El flujo evidencia que la trazabilidad solo se considera completa cuando todos los registros del ciclo productivo (BPPA-REG-01 al 10) se diligencian de forma continua, verificable y con archivo sistemático. En el diagnóstico regional, se identificó cumplimiento parcial en este componente (81 %), lo que implica la necesidad de fortalecer estandarización documental para auditorías BPPA y certificaciones sanitarias.

**Calidad del Agua**

La gestión del agua es un factor crítico en la acuicultura tropical. Este protocolo define parámetros de referencia: temperatura (26–30 °C), oxígeno disuelto (> 5 mg/L), pH (6.5–8.5) y amonio (< 0.05 mg/L), de acuerdo con los lineamientos técnicos del MADR (2018) y la FAO (2020). Como señala Boyd & Tucker (1998), el manejo preventivo del agua reduce las pérdidas y mejora la conversión alimenticia.

El monitoreo deberá realizarse semanalmente mediante kits portátiles o sensores digitales calibrados, registrando los valores en una hoja de control físico o digital. Los datos se analizarán para identificar variaciones y aplicar medidas correctivas inmediatas (aireación, renovación parcial de agua o ajuste de densidades). Para asegurar un control sistemático del ambiente productivo, las unidades piscícolas emplean instrumentos portátiles que permiten medir parámetros críticos como oxígeno disuelto, pH y temperatura. Estos equipos resultan esenciales para anticipar variaciones que puedan comprometer la salud y el rendimiento zootécnico de los peces (FAO, 2022; ICA, 2023). En la Figura 9 se muestra el instrumental utilizado para el monitoreo de la calidad del agua en campo.

### **Figura 9.**

*Equipos para monitoreo de la calidad del agua en estanques acuícolas*



Fotografía propia. Se observa el uso de un multiparamétrico portátil para medición de oxígeno disuelto, pH y temperatura, el cual permite realizar un seguimiento continuo del estado del agua y ajustar medidas de manejo en tiempo real.

La gestión de la calidad del agua en las unidades piscícolas incluidas en este protocolo se soporta en los límites fisicoquímicos establecidos por la FAO (2020), la AUNAP (2019) y el MADR (2018), así como las directrices ambientales del Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que regulan el uso y vertimiento de aguas en la producción acuícola.

Adicionalmente, el monitoreo debe realizarse con equipos calibrados según las normas técnicas de Boyd & Tucker (1998) para asegurar confiabilidad en los parámetros registrados y prevenir riesgos sanitarios y de bienestar animal.

El uso de equipos de monitoreo garantiza la toma de decisiones basada en datos, contribuyendo al control de parámetros críticos para la supervivencia y el bienestar de los peces. La disponibilidad y correcta calibración del instrumental reduce el riesgo de mortalidades asociadas a la hipoxia y mantiene condiciones dentro de los rangos óptimos establecidos para la producción acuícola sostenible (FAO, 2022; ICA, 2023).

### **Alimentación**

El componente alimentario se orienta hacia la eficiencia nutricional y la sostenibilidad. Se estipula el uso de alimentos balanceados certificados, evitando formulaciones caseras que comprometan la calidad del producto. De acuerdo con Tacon y Metian (2015), la correcta gestión de la alimentación contribuye a la reducción de residuos orgánicos y al mejor aprovechamiento de nutrientes. El control adecuado del suministro de alimento es un determinante clave del desempeño productivo y del impacto ambiental en sistemas acuícolas. El registro de raciones permite ajustar la oferta nutritiva con base en la biomasa real y minimizar las pérdidas por sobras, tal como lo recomiendan FAO (2020) y Tacon & Metian (2015). En la Figura 10 se presenta la evidencia de la distribución del alimento y las condiciones de manejo operacional en los estanques evaluados.

#### **Figura 10.**

*Raciones y control de alimento en estanques durante la fase de engorde*



La imagen muestra la distribución manual de alimento y la observación directa del consumo por parte de los peces, lo cual permite ajustar oportunamente la ración diaria y reducir pérdidas asociadas a sobrealimentación. Fotografía propia (2025).

El control visual realizado en la jornada alimentaria permitió identificar condiciones de aceptación del alimento superiores al 90%, lo cual es consistente con un estado fisiológico adecuado de los peces. No obstante, se evidenció la necesidad de complementar la supervisión con registros formales y mediciones periódicas de la biomasa para mantener la conversión alimenticia dentro de los rangos óptimos ( $CAA \leq 1.8$ ), siguiendo lineamientos de la AUNAP (2020) e ICA (2023).

El protocolo establece frecuencias de suministro según especie y fase productiva, con un rango de conversión alimenticia objetivo (FCA) de 1.4–1.8 en tilapia y 1.6–2.0 en cachama. Se recomienda el control diario de consumo y la eliminación de alimento no ingerido para prevenir contaminación del agua (AUNAP, 2021).

### **Manejo de Residuos**

El propósito principal es reducir al mínimo la carga de materia orgánica descargada y aprovechar los residuos como abono orgánico o compost. La recolección sistemática de los lodos y su disposición en zonas especialmente designadas deben realizarse conforme a lo establecido en el Decreto 1076 de 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia). Asimismo, se exige mantener un registro fotográfico y documental de todas las operaciones de manejo para facilitar auditorías internas y asegurar la trazabilidad. Para orientar el adecuado aprovechamiento de estos residuos, pueden aplicarse lineamientos como los propuestos en la Guía Técnica para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos mediante Compostaje y Lombricultura (UAESP & Universidad Nacional de Colombia, s. f.). Para el seguimiento y control de los residuos generados durante el ciclo productivo, se debe implementar el Formato BPPA-REG-05 (ver Anexo 4), como evidencia documental de cumplimiento en gestión ambiental, acorde con los lineamientos ICA (2023) y los requisitos técnicos para certificación BPPA (AUNAP, 2019). Este registro es obligatorio para auditorías y certificación.

### **Bienestar Animal**

El bienestar de los peces está directamente relacionado con la calidad del producto final y la sostenibilidad de la producción. Según Martos-Sitcha, Mancera y Prunet (2020) y Ashley (2007), las condiciones de densidad, oxigenación y manipulación determinan los niveles de estrés, el bienestar fisiológico y las tasas de mortalidad en sistemas acuícolas. El protocolo establece hasta

alevinaje densidades máximas recomendadas (Tilapia: 30–40 ind./m<sup>2</sup>; Cachama: 15–25 ind./m<sup>2</sup>; Bocachico: 10–20 ind./m<sup>2</sup>), garantizando espacio suficiente para permitir el comportamiento natural de las especies.

Estos rangos se sustentan en estudios experimentales sobre fisiología del estrés en peces tropicales, donde se demuestra que la limitación del espacio físico incrementa la secreción de cortisol, afectando el crecimiento y la respuesta inmune (Martos-Sitcha et al., 2020; Boyd & Tucker, 1998).

Las prácticas de captura y manipulación durante la cosecha influyen directamente en el bienestar animal y la calidad final del producto. La aplicación de métodos de manejo humanitario reduce el estrés, evita lesiones y mantiene parámetros fisicoquímicos adecuados, como lo recomiendan WOA (2021) y Ashley (2007). En la Figura 11 se muestra el procedimiento empleado en la cosecha de peces en las unidades productivas evaluadas.

**Figura 11.**

*Captura y manipulación durante la cosecha.*



La imagen evidencia el uso de redes adecuadas, el manejo inmediato de peces hacia contenedores con agua limpia y la reducción del tiempo de exposición al aire, lo que disminuye el sufrimiento animal y conserva la calidad del músculo. Fotografía propia (2025).

Se observó que la cosecha se realizó por levantamiento, lo que facilitó la manipulación y minimizó contactos bruscos entre peces. Sin embargo, persiste la necesidad de incorporar indicadores verificables de bienestar como tiempo máximo fuera del agua y evaluación de lesiones para asegurar cumplimiento de los estándares de buenas prácticas internacionales en cosecha (WOAH, 2021; FAO, 2022).

El protocolo contempla también la capacitación obligatoria del personal en temas de bienestar animal, cubriendo aspectos como técnicas de captura, transporte, manipulación y sacrificio humanitario (ICA, 2024). Esta formación busca asegurar que los operarios reconozcan signos tempranos de estrés, lesiones o comportamientos anómalos, evitando prácticas que generen sufrimiento innecesario.

Asimismo, se establecen registros sistemáticos de observación directa, donde se consignarán variables como actividad natatoria, apetito, coloración, frecuencia respiratoria y presencia de heridas o infecciones. Estos registros permitirán construir indicadores de bienestar y realizar ajustes preventivos en el manejo antes de que ocurran pérdidas productivas.

Finalmente, se recomienda implementar protocolos de bioseguridad integrados con el bienestar animal, como la desinfección de redes y equipos, control de vectores y cuarentena de nuevos lotes, ya que estos factores se correlacionan positivamente con la reducción del estrés crónico (FAO, 2021; AUNAP, 2020). En conjunto, estas medidas garantizan una producción más ética, segura y sostenible, alineada con los estándares internacionales de acuicultura responsable. La evaluación periódica de indicadores de bienestar animal se documentará mediante el Formato BPPA-REG-08 (ver Anexo 4), como requisito para auditorías internas de BPPA y seguimiento del desempeño productivo. Permite identificar condiciones de estrés y ajustar densidades.

### **Bioseguridad**

El último componente del protocolo aborda las medidas preventivas frente a enfermedades infecciosas. La AUNAP (2020) y la FAO (2021) recomiendan la aplicación de planes de bioseguridad integral que incluyan control de ingreso, desinfección de equipos, manejo de cuarentenas y eliminación de mortalidades.

Cada unidad productiva deberá contar con un protocolo escrito de limpieza y desinfección, así como registros de visitas y control de vehículos. Se sugiere mantener certificados sanitarios vigentes para alevinos y alimento, además de implementar un plan de vigilancia epidemiológica local, en coordinación con la autoridad sanitaria regional (ICA, 2016). La implementación de medidas de control sanitario debe ser registrada mediante el Formato BPPA-REG-06 (ver Anexo 4), permitiendo trazabilidad sanitaria y evaluación de riesgos conforme a ICA (2023) y FAO

(2020). Su diligenciamiento garantiza la prevención de brotes y la inocuidad del sistema productivo.

### 7.3 Sistema de registros y trazabilidad BPPA

Para garantizar la trazabilidad de los procesos productivos, el protocolo adopta un sistema de registros estandarizado conforme a los lineamientos de BPPA, NTC 5700 y Codex Alimentarius. Como se indica en la tabla 5, los formatos permiten documentar de forma verificable la información relacionada con siembras, alimentación, monitoreo de calidad del agua, mortalidad, tratamientos, cosecha y manejo de residuos (ICONTEC, 2015; Codex Alimentarius, 2020; FAO, 2020).

**Tabla 5.**

*Sistema de registros propuesto para la adopción de BPPA en unidades piscícolas*

Componente BPPA	Nombre del registro	Periodicidad	Responsable	Norma de referencia
Trazabilidad	Registro de siembra y lotes	Por ingreso de lote	Administrador	NTC 5700; Codex
Alimentación	Planilla de consumo y biometría	Diario/Semanal	Operario alimentación	FAO
Calidad del agua	Registro de parámetros fisicoquímicos	Diario	Técnico de campo	ICA; FAO
Sanidad	Planilla de mortalidad y tratamientos	Diario	Encargado sanitario	OIE/WOAH
Bioseguridad	Control de acceso y desinfección	Diario	Encargado de control	AUNAP
Efluentes	Registro de manejo de lodos	Quincenal	Operador	MinAmbiente

La tabla presenta los registros estandarizados exigidos para verificación BPPA en granjas piscícolas. Fuente: Elaboración propia con base en NTC 5700, Codex Alimentarius y FAO.

La adopción de estos registros permitirá fortalecer la trazabilidad operativa, atender requerimientos normativos en auditorías y habilitar la toma de decisiones basada en datos.

### 7.4 Procedimientos Operativos por Especie (Tilapia, Cachama y Bocachico)

Los monitoreos se documentan en el Anexo 4 Formato BPPA-REG-04.

#### Procedimientos operativos para Tilapia (*Oreochromis niloticus* / *Oreochromis spp.*)

a) Preparación y acondicionamiento del sistema de cultivo

La preparación de los estanques destinados al cultivo de tilapia requiere un enfoque integral que asegure la reducción de riesgos sanitarios y la optimización del ambiente acuático. Inicialmente, se realiza la limpieza completa del estanque, eliminando raíces, maleza, restos de sedimento y cualquier material orgánico que pueda constituir un reservorio de patógenos o favorecer la proliferación de algas indeseadas (AUNAP, 2021). En suelos ácidos o compactados destinados a la acuicultura, se recomienda la aplicación de cal (encalado) y prácticas de acondicionamiento del fondo del estanque para corregir el pH y mejorar las condiciones químicas del suelo antes del llenado. Posteriormente, el estanque se llena y se ajustan los parámetros físico-químicos del agua, manteniendo valores adecuados de temperatura según la especie cultivada, un pH entre 6,5 y 8,5, niveles suficientes de oxígeno disuelto y concentraciones seguras de amoníaco y nitritos, con el fin de reducir el estrés fisiológico y la mortalidad de los organismos acuáticos (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], s. f.).

#### b) Aclimatación y siembra de juveniles

Previo a la siembra, los alevinos deben someterse a un proceso de aclimatación gradual, exponiendo la bolsa de transporte al agua del estanque y mezclando lentamente el agua del estanque con la de la bolsa para igualar temperatura y condiciones químicas antes de liberarlos, lo que ayuda a evitar choque térmico y estrés del pez (FAO, s. f.). Las densidades recomendadas varían según la tecnología de producción: en sistemas semi-intensivos se utilizan densidades moderadas de siembra (por ejemplo, 2 – 8 peces /m<sup>2</sup> en estanques tradicionales) y en sistemas intensivos con aireación y recambio parcial de agua pueden alcanzar densidades mayores (por ejemplo, hasta 10 – 20 peces /m<sup>2</sup>) de acuerdo con la capacidad de soporte del estanque y la calidad del agua (Grokopedia, s. f.; FAO, s. f.). Es fundamental ajustar la densidad con base en la capacidad de manejo del productor, evitando competencia excesiva y sobrecarga ambiental (AUNAP, 2021). El registro de siembra se realizará en el Formato BPPA-REG-01 (ver Anexo 4).

#### c) Manejo alimenticio y monitoreo productivo

El alimento debe almacenarse en depósitos limpios, secos, ventilados y protegidos de plagas. Se recomienda registrar lote, fecha de recepción y proveedor, manteniendo un control riguroso de inventario (AUNAP, 2021). La alimentación se realiza de forma fraccionada, ajustando la cantidad

suministrada según biomasa estimada y etapa de desarrollo, y el monitoreo productivo mediante biometría periódica permite calcular indicadores como conversión alimenticia y crecimiento promedio diario, herramientas fundamentales para optimizar el rendimiento del cultivo (FAO, s. f.; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013). Este control garantiza eficiencia, ahorro en costos de alimentación y trazabilidad conforme a BPPA. El control de suministro de alimento se documentará en el Anexo 4, Formato BPPA-REG-02.

d) Monitoreo de la calidad de agua y bienestar animal

El bienestar de los peces depende directamente de la estabilidad del ambiente acuático. Por ello, se recomienda la medición frecuente de oxígeno disuelto, temperatura, pH, nitrito, amoníaco y turbidez y el mantenimiento de niveles adecuados de estos parámetros para evitar estrés y mortalidad. Se deben implementar sistemas de aireación, recambio de agua o sifonaje del fondo cuando se detecten desviaciones críticas (AUNAP, 2021). El desempeño productivo se verificará según el Anexo 4, Formato BPPA-REG-04.

e) Cosecha, manejo post-cosecha y trazabilidad

La cosecha debe programarse cuando los peces alcanzan la talla comercial (300–500 g). Se suspende la alimentación 24 h antes para facilitar el vaciado intestinal. Durante la captura, se emplean redes limpias y transporte oxigenado. La evisceración y manejo post-cosecha deben cumplir normas de higiene y seguridad alimentaria. Todo lote debe registrarse con fecha, talla, peso promedio y predio de origen, asegurando trazabilidad completa conforme a BPPA (AUNAP, 2021).

**Procedimientos operativos para Cachama (*Piaractus brachypomus*)**

a) Acondicionamiento del sistema y adecuación de hábitat

La cachama requiere estanques con suficiente profundidad (1–1,5 m) y capacidad de retención de agua estable. La limpieza del sistema, eliminación de vegetación sumergida y raíces, y fertilización controlada inicial son esenciales para promover la producción de alimento natural (fitoplancton y zooplancton), base de la dieta de esta especie (UPRA, 2024). Además, se debe garantizar la separación de especies para evitar competencia y transmisión de patógenos.

#### b) Siembra y densidad

La siembra debe realizarse cuando el estanque cuenta con alimento natural suficiente. En sistemas semi-intensivos, se recomienda densidad de 1–3 peces/m<sup>2</sup>, ajustada según la capacidad de producción y la calidad del agua. La densidad óptima asegura supervivencia, crecimiento uniforme y eficiencia alimenticia (UPRA, 2024).

#### c) Alimentación y monitoreo productivo

Aunque la cachama aprovecha alimento natural, se recomienda complementar con dieta balanceada comercial para garantizar uniformidad de crecimiento. Se registran diariamente biomasa, alimento suministrado, conversión alimenticia y tasa de supervivencia. La biometría mensual permite ajustar raciones y evaluar desempeño productivo (AUNAP, 2021).

#### d) Calidad de agua, bioseguridad y bienestar

La temperatura debe mantenerse entre 24–30 °C, oxígeno >4 mg/L y amoníaco <0,1 mg/L. Se aplican medidas de limpieza y desinfección de redes, sifones y bordes de estanque. El control de vectores, aves y roedores minimiza la transmisión de patógenos (UPRA, 2024).

La gestión de la calidad del agua en las unidades piscícolas incluidas en este protocolo se soporta en los límites fisicoquímicos establecidos por la FAO (2020), la AUNAP (2019) y el MADR (2018), así como las directrices ambientales del Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que regulan el uso y vertimiento de aguas en la producción acuícola. Adicionalmente, el monitoreo debe realizarse con equipos calibrados según las normas técnicas de Boyd & Tucker (1998) para asegurar confiabilidad en los parámetros registrados y prevenir riesgos sanitarios y de bienestar animal.

#### e) Cosecha y trazabilidad

La cosecha deberá planificarse de acuerdo con la talla comercial establecida para cada especie: tilapia (300–500 g), cachama (500–1000 g) y bocachico (300–500 g). Se suspenderá la alimentación entre 24 y 48 horas antes de la captura, con el fin de disminuir la carga orgánica durante el transporte y mejorar la inocuidad del producto (FAO, 2020; AUNAP, 2021).

La captura se realizará utilizando redes limpias previamente lavadas y desinfectadas con soluciones aprobadas para sistemas acuícolas (hipoclorito de sodio al 2–5 %), evitando golpes, compresiones o manipulaciones innecesarias que afecten el bienestar animal. La densidad durante el manejo no debe exceder 100–120 kg/m<sup>3</sup> para prevenir estrés severo y mortalidades (Ashley, 2007).

El transporte deberá garantizar oxigenación continua, temperatura estable entre 24 y 28 °C y ausencia de agentes contaminantes. Se recomienda el uso de tanques isotérmicos o contenedores con tapa, equipados con sistemas de oxígeno suplementario (cilindros o aireadores), que permitan mantener condiciones adecuadas para el bienestar de los peces durante el traslado. Los contenedores deben ser limpiados y desinfectados antes y después de cada operación de transporte, en cumplimiento de las disposiciones sanitarias y de bioseguridad establecidas para la producción primaria de animales acuáticos y el manejo higiénico de animales destinados al consumo humano (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2016; República de Colombia, 2007).

Durante el transporte, se llevará un Registro de Movilización de Producto Hidrobiológico expedido por la AUNAP, el cual certifica el origen legal del lote y la trazabilidad sanitaria. El registro deberá contener, como mínimo:

- Predio de origen y destino
- Identificación del lote (fecha, estanque y código QR asignado)
- Número de peces o biomasa transportada
- Estado sanitario y observaciones relevantes
- Responsable del transporte y vehículo utilizado

Se deberá minimizar el tiempo de traslado y efectuar paradas únicamente cuando se requiera monitoreo de parámetros de agua u oxígeno. A la llegada, los peces serán manipulados bajo condiciones de higiene y seguridad alimentaria conforme a los reglamentos del Invima, asegurando la cadena de frío en caso de sacrificio o beneficio.

Estas medidas garantizan trazabilidad total del producto y reducen riesgos sanitarios y de bienestar animal, fortaleciendo la competitividad y cumplimiento normativo de la cadena productiva acuícola (FAO, 2022; AUNAP, 2021; ICA, 2016).

**Procedimientos operativos para Bocachico (*Prochilodus magdalenae*)**

## a) Caracterización y preparación del sistema

El bocachico es una especie nativa que se beneficia de sistemas extensivos o semi-intensivos. Los estanques deben tener profundidad de 0,8–1 m, buena oxigenación, control de sedimentos y producción de perifiton, alimento natural fundamental (Mendoza, 2021).

## b) Siembra y densidad

Se recomienda densidad de 1 pez/5 m<sup>2</sup>, ajustando la siembra según disponibilidad de alimento natural y características locales. Se sugiere ensayo piloto para verificar crecimiento, supervivencia y conversión (Mendoza, 2021). Las densidades productivas se ajustan a las recomendaciones técnicas para acuicultura tropical y deben verificarse periódicamente conforme a la calidad del agua y al crecimiento de la biomasa (Boyd & Tucker, 1998; AUNAP, 2021).

La determinación de la densidad de siembra se fundamenta en la capacidad de soporte del sistema (calidad del agua, oxígeno disuelto y recambio hidráulico) y en parámetros técnicos definidos para acuicultura tropical. Las recomendaciones de densidad se sustentan en literatura especializada válida para sistemas de producción en Colombia y América Latina.

Estas densidades se ajustan con base en: Tasa de supervivencia; Parámetros de calidad del agua críticos (Oxígeno disuelto > 4–5 mg/L, pH 6.5–8.5, Amonio < 0.05–0.10 mg/L); Capacidad operativa y monitoreo del productor. El control técnico de biomasa y conversión alimenticia permite evitar sobrepoblación y estrés, favoreciendo el bienestar animal (Martos-Sitcha et al., 2020).

## c) Alimentación y monitoreo

Se complementa alimento natural con suplemento comercial en etapas iniciales. Se registran diariamente biomasa, crecimiento individual, conversión alimenticia y tasa de supervivencia. Trimestralmente se realiza biometría para ajustar manejo y garantizar uniformidad (Mendoza, 2021).

El manejo alimenticio se realiza con base en dietas comerciales formuladas para acuicultura tropical, ajustadas a la fase productiva de cada especie. La ración se determina como porcentaje

---

del peso corporal (% PC/día) y se corrige según biomasa, conversión alimenticia y comportamiento del lote (NRC, 2011; AUNAP, 2021).

Bocachico (*Prochilodus magdalenae*)

Dieta con 22–28% proteína + complementos vegetales

Ración: 2–4% PC/día dependiendo de la disponibilidad natural

La alimentación se distribuye en 2 a 3 raciones diarias, con observación constante para evitar sobrantes y desperdicios. El ajuste de la ración se basa en controles de biomasa cada 2–4 semanas, considerando la temperatura y el oxígeno disuelto para maximizar la eficiencia alimentaria y el rendimiento productivo, ya que la frecuencia y cantidad de alimento influyen en la conversión alimenticia y el crecimiento específico de los peces (Índices zootécnicos, s. f.; Naspirá-Jojoa, 2022):

- Factor de Conversión Alimenticia (FCA)
- Índice de crecimiento específico (SGR)
- Tasa de supervivencia

El almacenamiento del alimento debe asegurar protección contra humedad, plagas y oxidación lipídica, manteniendo trazabilidad del lote y fecha de vencimiento para garantizar calidad y estabilidad nutricional (Índices zootécnicos, s. f.).

#### d) Calidad de agua y condiciones ambientales

El monitoreo de calidad del agua se establece como medida preventiva de sanidad y bienestar, acorde con la normatividad sanitaria nacional y lineamientos internacionales para acuicultura tropical (ICA, 2023; FAO, 2020). Para la especie en mención, se recomienda mantener temperaturas entre 24 °C y 30 °C, oxígeno disuelto por encima de 4 mg/L, pH entre 6,5 y 8,0 y amoníaco total por debajo de 0,1 mg/L, ya que estos rangos favorecen procesos fisiológicos óptimos y reducen el estrés en peces de agua dulce cultivados. El control de sedimentos, aireación y limpieza periódica asegura bienestar y reduce riesgos sanitarios (AUNAP, 2021; Mendoza et al., 2021).

El programa incluye parámetros fisicoquímicos y productivos críticos, con rangos óptimos definidos para tilapia, cachama y bocachico en condiciones de clima cálido, como se describe en la tabla 6. (Boyd & Tucker, 2014; AUNAP, 2021).

Registros escritos y trazables se almacenan en formato digital o físico durante mínimo 24 meses, lo cual permite analizar tendencias y tomar acciones correctivas (AUNAP, 2021).

**Tabla 6.**

*Programa técnico de monitoreo de calidad del agua para sistemas acuícolas en clima cálido*

Parámetro	Rango recomendado	Frecuencia mínima	Justificación
Temperatura (°C)	26–30	Diario	Regula metabolismo y consumo
Oxígeno Disuelto (mg/L)	> 5.0	Diario / continuo si es posible	Evita estrés y mortalidad
pH	6.5–8.5	Diario	Mantiene función fisiológica
Amonio TAN (mg/L)	< 0.5	Semanal	Evita toxicidad en tejidos
Nitritos NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	< 0.1	Semanal	Reduce estrés hipóxico
Salinidad (‰)	0–5	Mensual	Ajustes en osmorregulación
Transparencia (cm, Disco Secchi)	30–50	Semanal	Control de algas
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	> 40	Mensual	Estabiliza pH
Sólidos Sedimentables (mL/L/h)	< 1.0	Mensual	Previene impactos en branquias

Los rangos recomendados se basan en literatura técnica y normatividad vigente que promueve un enfoque preventivo de la sanidad y bienestar en acuicultura tropical (ICA, 2023; Boyd & Tucker, 1998).

Para mejorar la exactitud, los equipos de medición deben:

- calibrarse mensualmente o según instrucción del fabricante
- verificarse mediante patrones certificados (American Public Health Association [APHA] et al., 2017).

Se establece un plan de respuesta ante desviaciones priorizando: aireación suplementaria, reducción de ración y densidad, recambios de agua controlados, ajustes del sistema productivo.

#### d) Cosecha y trazabilidad

La cosecha de *Prochilodus magdalenae* debe realizarse bajo condiciones que minimicen el estrés, aseguren la inocuidad y garanticen la trazabilidad del producto final, conforme a la NTC 5700 (ICONTEC, 2020) y las recomendaciones sanitarias de FAO (2020). Para ello, se establecen los siguientes pasos operativos:

Procedimiento (Cómo se hace): Planificación y programación: Determinar biomasa comercial mediante biometría previa (peso promedio  $\geq$  350 g), registrar lote, fechas y estanque correspondiente en formato de trazabilidad.

**Ayuno pre-cosecha:** Suspender alimentación 12–24 h antes para reducir materia orgánica en el tracto digestivo y mejorar calidad del agua.

**Método de captura:** Realizar pesca con red de arrastre o atarraya según tamaño de estanque, mantener una velocidad lenta y progresiva para evitar traumatismos y evitar captura en horas de alta temperatura ( $> 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para minimizar estrés térmico.

**Manejo y bienestar:** Mantener peces en agua durante manipulación, evitar apilamiento y compresión en la red y trabajar máximo 10 minutos para cada operación de extracción.

**Clasificación y descarte:** Separar peces con daños físicos visibles, registrar mortalidad y condición sanitaria del lote.

**Inmersión en hielo-agua (bienestar e inocuidad):** Aplicar aturdimiento y sacrificio humanitario (inmersión inmediata en mezcla hielo–agua  $0\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$  (WOAH, 2021)), relación recomendada: 1:1 peso de pescado / peso de hielo.

**Lavado y empaque:** Lavar con agua potable y desinfectada (hipoclorito 2–5 ppm), empacar en contenedores sanitizados con identificación del lote.

**Transporte seguro:** Mantener cadena de frío  $\leq 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta punto de venta o planta de proceso, utilizar transporte cerrado y limpio, verificado en formato de bioseguridad.

El procedimiento detallado permite operacionalizar las BPPA en la cosecha de bocachico, articulando bienestar animal, inocuidad y trazabilidad, elementos críticos identificados como brechas en el diagnóstico regional.

### **7.5 Estructura Operativa del Protocolo BPPA**

La estructura operativa constituye el núcleo funcional del Protocolo para la Producción de Pescado bajo Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) en Villavicencio, Meta. Su finalidad es traducir los principios técnicos y normativos en actividades específicas que orienten el manejo diario de las unidades piscícolas, asegurando trazabilidad, sostenibilidad y bienestar animal en todas las etapas del proceso productivo (FAO, 2020; AUNAP, 2021).

Este marco de acción integra los componentes esenciales de las BPPA en un sistema operativo coordinado, aplicable tanto a pequeñas granjas artesanales como a unidades tecnificadas, en concordancia con las directrices internacionales de la FAO (2021) y las políticas nacionales del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2020).

### **Enfoque de Implementación**

El protocolo propuesto se fundamenta en el ciclo PHVA (Planificar–Hacer–Verificar–Actuar), el cual permite establecer un esquema de mejora continua aplicado a los procesos productivos acuícolas, garantizando la estandarización, el control y la retroalimentación sistemática de las prácticas operativas, con base en los principios de gestión de la calidad y mejora continua ampliamente reconocidos a nivel internacional (Deming, 1986; International Organization for Standardization [ISO], 2015).

Cada componente del protocolo trazabilidad, calidad del agua, alimentación, manejo de residuos, bienestar animal y bioseguridad se desarrolla mediante procedimientos estandarizados que definen qué se hace, cómo se hace, quién lo ejecuta y con qué frecuencia. Esta metodología garantiza uniformidad, transparencia y evidencia verificable (FAO, 2021; AUNAP, 2020).

Además, la estructura operativa adopta un enfoque integral de sostenibilidad, incorporando simultáneamente aspectos ecológicos, económicos y sociales del cultivo de peces. Como lo destaca la FAO (2022), el cumplimiento de las BPPA no debe limitarse al control sanitario o productivo, sino abarcar también la gestión eficiente del recurso hídrico, la inocuidad alimentaria y el bienestar de los organismos.

### **Componentes Operativos y Gestión Técnica**

En la tabla 7. Se especifica la estructura operativa del protocolo, la cual está organizada en seis componentes estratégicos que responden a las exigencias técnicas establecidas por la FAO y la AUNAP. Cada uno de ellos contiene objetivos, acciones, responsables, frecuencia de ejecución, medios de verificación e indicadores de cumplimiento.

Estos componentes garantizan que la producción acuícola cumpla los principios de sostenibilidad, inocuidad y trazabilidad, asegurando la calidad del producto final desde la siembra hasta la cosecha (FAO, 2021; Soto, Aguilar-Manjarrez & Hishamunda, 2008).

**Tabla 7.**

*Estructura operativa del protocolo.*

<b>Componente</b>	<b>Descripción operativa</b>	<b>Responsable</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Evidencia</b>	<b>Indicador de cumplimiento</b>
<b>Trazabilidad</b>	Registro de origen de alevinos, alimento, tratamientos, cosecha y distribución del producto final mediante planillas o software digital.	Administrador de producción.	Diario.	Registro físico o digital de lotes.	100 % de los lotes identificados con código único.
<b>Calidad del agua</b>	Medición sistemática de parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, oxígeno disuelto, amonio, nitritos).	Técnico acuícola.	Dos veces por semana.	Bitácora de monitoreo.	≥ 80 % de los valores dentro del rango óptimo.
<b>Alimentación</b>	Control del tipo, cantidad y frecuencia de alimento; monitoreo del consumo y crecimiento.	Operario de alimentación.	Diario.	Registro de consumo y peso.	Conversión alimenticia ≤ 1.8:1.
<b>Manejo de residuos</b>	Clasificación, almacenamiento y disposición segura de residuos sólidos y líquidos.	Encargado ambiental.	Semanal.	Registro fotográfico y bitácora.	≥ 90 % de los residuos gestionados correctamente.
<b>Bienestar animal</b>	Observación de signos de estrés, lesiones y comportamiento anormal; manejo humanitario.	Técnico responsable.	Diario.	Formato de observación.	Mortalidad ≤ 3 % mensual.
<b>Bioseguridad</b>	Aplicación de medidas preventivas: control de visitantes, desinfección, cuarentenas.	Responsable sanitario.	Diario.	Registro de limpieza y control sanitario.	≥ 95 % de las medidas aplicadas correctamente.

(Adaptado de FAO, 2020; AUNAP, 2021; MADR, 2020).

### **Procedimientos Estándar de Operación (PEO)**

Cada actividad descrita en el protocolo se respalda con un Procedimiento Estándar de Operación (PEO), el cual describe de manera detallada los pasos técnicos que deben seguir los operarios y responsables, un PEO bien estructurado evita la variabilidad en los procesos, minimiza errores humanos y fortalece la bioseguridad (Boyd & Tucker, 1998). Por ejemplo: En calidad del agua, los

parámetros deben medirse con instrumentos calibrados siguiendo los protocolos de Boyd & Tucker (1998). En alimentación, los criterios de ración deben ajustarse a la fase de crecimiento y temperatura, conforme a las recomendaciones de Tacon & Metian (2015). En bienestar animal, se aplican las orientaciones de la FAO (2020) y Martos-Sitcha, Mancera y Prunet (2020), priorizando la reducción de estrés durante manipulación, transporte y sacrificio.

Cada Procedimiento Estándar de Operación debe contener:

- Objetivo y alcance.
- Materiales y equipos necesarios.
- Procedimiento paso a paso.
- Frecuencia y condiciones de ejecución.
- Indicadores de control.
- Medidas preventivas y correctivas.

Estos documentos conforman el manual operativo del protocolo, el cual debe estar disponible en todas las áreas productivas (AUNAP, 2021).

### **Responsables, Roles y Capacitación**

La ejecución del protocolo requiere una estructura organizativa definida. Cada instalación debe contar con un coordinador técnico, un responsable sanitario y un operario capacitado en manejo, alimentación y bioseguridad.

La AUNAP (2021) sugiere que las capacitaciones se realicen al menos dos veces al año, abordando temas de bienestar animal, control de calidad del agua, alimentación sostenible y trazabilidad digital. Estas actividades deben ser dirigidas por profesionales certificados o por el apoyo técnico regional de la AUNAP, garantizando la transferencia de conocimiento y la actualización tecnológica.

La evidencia de capacitación incluirá listas de asistencia, guías impresas, registros fotográficos y evaluaciones de desempeño. Según la FAO (2022), la formación continua del personal reduce hasta en un 30 % las pérdidas por errores operativos y mejora la trazabilidad documental.

### **Registros, Control y Evaluación del Cumplimiento**

El protocolo define un sistema de registros integrados que consolida información sobre variables ambientales, zootécnicas y sanitarias. Este sistema permite verificar el cumplimiento de los indicadores BPPA mediante auditorías internas periódicas (FAO, 2021).

Cada componente del protocolo debe contar con un registro obligatorio conforme a los Formatos del Sistema BPPA (ver Anexo 4). Para ello se emplean:

- Formato BPPA-REG-01, para registrar procedencia y siembra de peces.
- Formato BPPA-REG-02, para control de alimentación.
- Formato BPPA-REG-03, para biometrías, mortalidad y eficiencia alimenticia.
- Formatos BPPA-REG-04, Para calidad del Agua y Condiciones Ambientales.
- Formatos BPPA-REG-05, Para registro de Manejo de Residuos y Efluentes.
- Formatos BPPA-REG-06, Para registro de Bienestar Animal y Comportamiento
- Formatos BPPA-REG-07, Para registro de Movilización, Cosecha y Transporte
- Formatos BPPA-REG-08, Para registro de Bioseguridad y Salud Animal.
- Formatos BPPA-REG-09, Para registro de Trazabilidad (Consolidado Digital / Físico)
- Formatos BPPA-REG-10, Para registro de Auditoría Interna y Cumplimiento BPPA.

(AUNAP, 2019; FAO, 2020; ICA, 2023).

Los registros deben conservarse durante al menos dos ciclos productivos y deben estar disponibles para revisión por parte de entidades de control como la AUNAP o el ICA.

Las auditorías se aplicarán trimestralmente con base en tres categorías:

- Cumple (C): el procedimiento se ejecuta correctamente y se documenta.
- Cumple parcialmente (CP): existe evidencia incompleta o ejecución irregular.
- No cumple (NC): el procedimiento no se aplica o no se documenta.

Los resultados se consolidarán en un informe técnico de seguimiento, el cual debe incluir observaciones, porcentaje de cumplimiento por componente y recomendaciones de mejora continua (FAO, 2022; AUNAP, 2020).

### **Indicadores de Desempeño Global**

Como se evidencia en la tabla 8, los indicadores de desempeño constituyen herramientas de gestión que permiten cuantificar la efectividad del protocolo. Se dividen en productivos,

ambientales y sanitarios, y su análisis permite orientar la toma de decisiones (MADR, 2020; FAO, 2022).

Estos indicadores servirán como base para la evaluación anual del desempeño, facilitando la identificación de tendencias, la priorización de recursos y la adopción de mejoras tecnológicas (FAO, 2021).

**Tabla 8.**

*Indicadores de Desempeño Global*

<b>Indicador</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Meta anual</b>	<b>Fuente de datos</b>	<b>Tipo de indicador</b>
Cumplimiento general BPPA (%)	$(\text{Ítems cumplidos} \div \text{Ítems totales}) \times 100$	$\geq 90 \%$	Formato de auditoría.	Gestión global.
Conversión alimenticia promedio	Kg alimento / Kg biomasa ganada	$\leq 1.8:1$	Registro de alimentación.	Productivo.
Mortalidad acumulada anual (%)	$(\text{Total muertos} \div \text{Total sembrados}) \times 100$	$\leq 5 \%$	Registro sanitario.	Sanitario.
Cumplimiento de bienestar animal (%)	$(\text{Días sin observaciones críticas} \div \text{Total de días}) \times 100$	$\geq 95 \%$	Formato de observación.	Bienestar animal.
Cumplimiento en bioseguridad (%)	$(\text{Medidas aplicadas} \div \text{Medidas planificadas}) \times 100$	$\geq 95 \%$	Plan de bioseguridad.	Preventivo.

**Retroalimentación y Mejora Continua**

La estructura operativa se complementa con un mecanismo de retroalimentación que permita ajustar los procedimientos a partir de los resultados de monitoreo. De acuerdo con Soto, Aguilar-Manjarrez y Hishamunda (2008), los sistemas acuícolas sostenibles deben ser flexibles y adaptativos, incorporando la innovación tecnológica y el aprendizaje organizacional como herramientas de mejora. En este contexto, los resultados obtenidos en las auditorías internas y los registros de desempeño serán analizados trimestralmente por el coordinador técnico, quien elaborará un plan de mejora continua, estableciendo metas específicas, responsables y plazos definidos.

## **7.6 Sistema de Seguimiento y Verificación del Protocolo BPPA**

La integración de los registros productivos, sanitarios y ambientales se realizará sobre el Formato BPPA-REG-09 (ver Anexo 4), como parte del sistema de trazabilidad total del ciclo productivo. Este documento consolida datos para revisión interna y certificación.

### **Enfoque general de seguimiento**

El seguimiento del Protocolo para la Producción de Pescado bajo Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) constituye un mecanismo sistemático de control orientado a garantizar la sostenibilidad productiva, ambiental y sanitaria de las unidades piscícolas. Este sistema se estructura a partir de los principios técnicos de la FAO (2020) y las directrices nacionales establecidas por la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP, 2019, 2020), las cuales definen criterios verificables para asegurar la trazabilidad y la inocuidad del producto pesquero.

El proceso de seguimiento se fundamenta en la recolección continua de información mediante indicadores operativos, agrupados en seis ejes principales: trazabilidad, calidad del agua, alimentación, manejo de residuos, bienestar animal y bioseguridad. La periodicidad sugerida es trimestral o por ciclo productivo, de forma que los resultados obtenidos permitan identificar tendencias, variaciones en los parámetros críticos y niveles de cumplimiento frente a los estándares técnicos nacionales e internacionales (FAO, 2022; MADR, 2020).

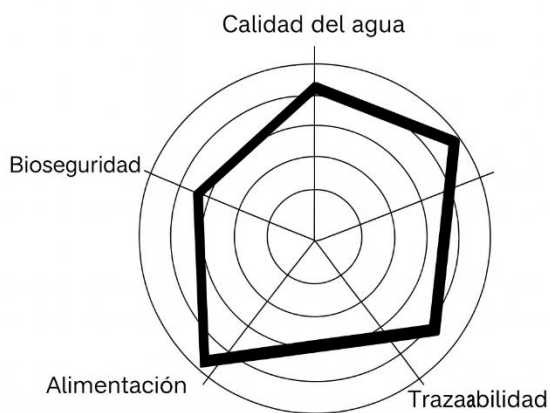
El seguimiento del cumplimiento de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) debe realizarse mediante herramientas de evaluación visual que permitan identificar avances y brechas de forma rápida. La Figura 12 presenta un ejemplo de auditoría interna con semaforización, utilizada para interpretar los niveles de cumplimiento por componente.

El análisis evidencia que las unidades productivas orientan esfuerzos hacia prácticas asociadas a productividad y control sanitario, mientras que los componentes ambientales mantienen rezagos que podrían afectar la sostenibilidad del cultivo. Esta tendencia coincide con reportes nacionales y regionales donde el tratamiento de efluentes es una de las principales debilidades para la certificación BPPA (FAO, 2022; López-Murcia et al., 2022). Por tanto, se recomienda fortalecer la articulación entre gestión ambiental, bienestar animal y biosanidad como ejes integradores del sistema.

Asimismo, se promueve la adopción de sistemas digitales de registro y plataformas interoperables que respalden los datos recolectados, facilitando la auditoría y el seguimiento remoto de las granjas acuícolas. Este enfoque digital reduce los errores humanos y fortalece la transparencia frente a entidades de control, en concordancia con los lineamientos de Charlebois et al. (2024) y Cromwell (2025) sobre trazabilidad digital en cadenas alimentarias.

**Figura 12.**

*Ejemplo de auditoría con semaforización del cumplimiento BPPA.*



La gráfica radar permite visualizar el grado de adopción de las dimensiones evaluadas: trazabilidad, alimentación, calidad del agua, manejo de residuos, bioseguridad y bienestar animal. Se observa un desempeño mayor en trazabilidad y bioseguridad, mientras que el manejo de residuos presenta el valor más bajo, indicando una brecha ambiental relevante que priorizar en el Plan de Mejora. Elaboración propia (2025).

**Metodología de verificación**

El componente de verificación consiste en la aplicación de listas de chequeo estructuradas y validadas por personal técnico especializado en BPPA, que evalúan el grado de implementación de cada medida. Estas listas permiten cuantificar el cumplimiento mediante tres categorías estandarizadas, las categorías se evidencian en la tabla 9.

Los resultados obtenidos se consolidan en una matriz de evaluación cuantitativa, expresada en porcentajes de cumplimiento por componente. Esta metodología se apoya en las recomendaciones de Boyd y Tucker (1998) para la evaluación integral de sistemas acuícolas, priorizando la estandarización de los procedimientos y la validación de los datos obtenidos. Ver anexo 6. Listas de chequeo por componente.

**Tabla 9.**

*Categorías estandarizadas*

<b>Categoría</b>	<b>Descripción técnica</b>
<b>Cumple</b>	El criterio está implementado completamente y evidencia su aplicación mediante registros verificables.
<b>Parcial</b>	El criterio presenta avances o documentación incompleta, sin cumplir todos los requisitos técnicos.
<b>No cumple</b>	El criterio no se aplica o presenta incumplimiento de las normas establecidas.

El uso de herramientas estadísticas complementarias, como el análisis de correlaciones entre componentes, permite identificar relaciones entre la gestión del agua, la alimentación y los niveles de bienestar animal, fortaleciendo el diseño de estrategias preventivas (FAO, 2022; Martos-Sitcha, Mancera & Prunet, 2020).

**Análisis e interpretación de resultados**

Los resultados del seguimiento deben interpretarse de manera integral, considerando el grado de cumplimiento global de cada componente. La ponderación porcentual por eje temático permite clasificar las granjas en tres niveles:

**Verde (80–100%):** Cumplimiento óptimo.

**Amarillo (50–79%):** Cumplimiento parcial, requiere ajustes.

**Rojo (<50%):** No cumplimiento, requiere intervención técnica inmediata.

Los valores obtenidos deben graficarse mediante diagramas tipo semáforo o radar, que visualicen los avances por área temática, facilitando la toma de decisiones estratégicas. Este sistema, recomendado por la FAO (2022) y aplicado en modelos de seguimiento en América Latina, fortalece la gobernanza y permite auditorías transparentes por parte del ICA y la AUNAP (2020).

**7.7 Plan de Mejora Continua y Acciones Correctivas**

Las auditorías internas del sistema BPPA y las acciones de mejora derivadas se registrarán en el Formato BPPA-REG-10 (ver Anexo 4). Este formato asegura el enfoque de mejora continua basado en el ciclo PHVA.

**Enfoque general del plan de mejora**

El Plan de Mejora Continua tiene por finalidad transformar los hallazgos del diagnóstico en acciones operativas, verificables y priorizadas, con la intención de elevar el cumplimiento de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) en las 22 unidades evaluadas. El plan adopta el ciclo PHVA (Planear–Hacer–Verificar–Actuar) como marco metodológico para asegurar la mejora sostenida y la retroalimentación técnica entre productores y autoridades (FAO, 2020; AUNAP, 2019).

Este plan permite identificar no conformidades, establecer estrategias de corrección, y asegurar la trazabilidad de las acciones implementadas. Así mismo, se articula con los resultados obtenidos en la sección anterior (seguimiento y verificación), donde se registran los niveles de cumplimiento de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA).

El Plan se implementa en tres niveles que definen responsabilidades y alcance de verificación:

- a. Nivel 1. Evaluación técnica interna (unidad productiva): ejecución de listas de verificación diarias/semanales por el encargado de producción; registros en formatos BPPA-REG (Anexo 4). Los resultados se consolidan mensualmente para detectar no conformidades menores y tendencias. (FAO; AUNAP).
- b. Nivel 2. Supervisión externa: verificación trimestral por un técnico externo o por la AUNAP Territorial Meta; validación de registros y muestreo puntual (agua, efluentes). Esta supervisión prioriza las discrepancias detectadas en las auditorías internas. (AUNAP, 2019).
- c. Nivel 3. Revisión y aval regional: revisión anual por el Comité Técnico de Acuicultura Regional (CTAR) para actualizar parámetros, aprobar cambios y emitir concepto técnico de aval. La AUNAP Territorial actúa como canal para presentar el protocolo y solicitar la revisión formal. (AUNAP; MADR).

Justificación técnica: la combinación de controles internos frecuentes y auditorías externas periódicas facilita la identificación temprana de desviaciones y la aplicación oportuna de acciones correctivas, reduciendo riesgos sanitarios y ambientales (Boyd & Tucker, 1998).

### **Objetivos del plan de mejora**

El plan de mejora se orienta a cumplir los siguientes objetivos específicos:

- a. Actualizar y estandarizar los Procedimientos Estándar de Operación (PEO) para cada componente BPPA. (FAO; AUNAP).

- b. Reducir el impacto ambiental (efluentes y lodos) mediante medidas técnicas escalonadas adaptadas a la escala de cada unidad. (MinAmbiente; FAO).
- c. Fortalecer capacidades técnicas en cálculo de FCR, biometría, muestreo de agua y registros trazables. (ICA; AUNAP).
- d. Establecer un sistema de auditoría interna basado en formatos BPPA-REG con trazabilidad de acciones correctivas (BPPA-REG-10). (NTC 5700 / guías de gestión de inocuidad).

Estos objetivos reflejan la necesidad de una producción más eficiente y ética, alineada con las metas de sostenibilidad acuícola definidas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR, 2020) y la FAO (2022).

### Estructura operativa del plan de mejora

El plan se implementa en cinco fases operativas interrelacionadas, las cuales deben ejecutarse de manera cíclica para asegurar la mejora constante del sistema productivo. La estructura operativa del plan se detalla en la Tabla 10.

**Tabla 10.**

*Fases operativas del Plan de Mejora Continua*

<b>Fase</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>	<b>Periodicidad</b>
1. Diagnóstico técnico	Consolidación de resultados de auditorías internas y externas; análisis de brechas con formatos BPPA-REG	Coordinador técnico / Verificador	Trimestral
2. Priorización de no conformidades	Clasificación por impacto (Alto, Medio, Bajo) y factibilidad	Comité de Calidad Acuícola	Trimestral
3. Diseño de acciones correctivas	Elaboración de PEOs, recursos necesarios, cronograma y responsables	Jefe de producción / Supervisor técnico	Trimestral
4. Implementación y capacitación	Ejecución de acciones y formación práctica al equipo operativo	Supervisor de campo / Entidades formadoras	Continua (por acción)
5. Evaluación de eficacia	Medición de indicadores y ajuste de acciones (cierre de no conformidades)	Comité técnico / AUNAP	Semestral

La estructura garantiza que las no conformidades sean tratadas con enfoque de riesgo y factibilidad, priorizando intervenciones con mayor impacto en inocuidad y menor requerimiento de inversión inicial (FAO, 2020).

### Indicadores de mejora

Los indicadores permiten medir el progreso de las acciones correctivas implementadas y determinar el impacto del plan sobre el sistema productivo. Se clasifican en tres categorías y se presentan en la Tabla 11.

**Tabla 11.**

*Indicadores de mejora del Plan de Mejora Continua*

Tipo de indicador	Ejemplo de medición	Fuente de verificación	Meta sugerida
Productivo	Mortalidad mensual (%)	Registros diarios de mortalidad (BPPA-REG-03)	< 5% mensual
Productivo	Conversión alimenticia promedio (FCR)	BPPA-REG-02 y BPPA-REG-03	≤ 1.8 (tilapia)
Ambiental	Sólidos suspendidos totales (SST, mg/L)	Muestreos laboratorio / bitácora BPPA-REG-02	≤ 40 mg/L
Sanitario/Bienestar	% cumplimiento protocolos bioseguridad	Auditoría BPPA-REG-10	≥ 95%
Trazabilidad	% lotes con trazabilidad completa	Registros BPPA-REG-01 y BPPA-REG-09	≥ 90%

Los indicadores combinan medidas productivas, ambientales y sanitarias para asegurar que las acciones correctivas impacten integralmente el sistema; la verificación se basa en formatos y ensayos documentados. (AUNAP; FAO).

### Acciones correctivas específicas por componente BPPA

Las acciones correctivas y sus responsables se resumen en la Tabla 12, y están priorizadas para lograr resultados rápidos en bioseguridad y trazabilidad (alto impacto, baja inversión), y soluciones de mediano plazo para efluentes que requieren inversión o ingeniería ligera. (AUNAP; FAO; MinAmbiente).

**Tabla 12.**

*Acciones correctivas por componente BPPA*

Componente	No conformidad detectada	Acción correctiva	Indicador de mejora	Responsable	Plazo
------------	--------------------------	-------------------	---------------------	-------------	-------

<b>Trazabilidad</b>	Falta de registros digitales de lotes.	Implementar sistema de codificación QR y digitalización de bitácoras.	% de trazabilidad registrada.	Administrador.	3 meses
<b>Calidad del agua</b>	Inestabilidad de oxígeno y pH.	Instalar aireadores automáticos y mejorar recambio de agua.	Oxígeno > 5 mg/L; pH 6.5–8.5.	Técnico ambiental.	2 meses
<b>Alimentación</b>	Variabilidad en conversión alimenticia.	Ajustar raciones y frecuencia de suministro según biomasa.	CAA ≤ 1.8.	Jefe de producción.	1 mes
<b>Residuos</b>	Acumulación de desechos orgánicos.	Implementar sistema de compostaje y separación de residuos.	Reducción 40% residuos no tratados.	Supervisor ambiental.	4 meses
<b>Bienestar animal</b>	Densidad superior a la recomendada.	Redistribuir biomasa por estanque y capacitar personal.	Mortalidad < 5%.	Encargado de manejo.	2 meses
<b>Bioseguridad</b>	Falta de registro de desinfección.	Crear protocolo y bitácora diaria de bioseguridad.	100% registros diarios.	Coordinador sanitario.	1 mes

### Procedimiento de auditoría interna y cierre de no conformidades

1. Registro de hallazgo: el auditor registra la no conformidad en BPPA-REG-10 (formato de auditoría y acción correctiva).
2. Clasificación de riesgo: se asigna nivel (Alto/Medio/Bajo) según impacto en inocuidad, ambiente o productividad.
3. Plan de acción: responsable y acciones concretas con fecha de inicio y fecha objetivo.
4. Ejecución: implementación y registro de evidencias (fotografías, facturas, bitácoras).
5. Verificación: re-inspección para comprobar la eficacia; si cumple, se cierra el hallazgo; si no, se escala a supervisión externa. (NTC 5700; AUNAP).

### Revisión y actualización del protocolo

El protocolo debe ser revisado anualmente por el Comité Técnico de Acuicultura Regional, con el fin de integrar las nuevas evidencias científicas, los cambios normativos nacionales y los avances tecnológicos del sector. Según la FAO (2022) y la AUNAP (2020), la actualización periódica

garantiza la pertinencia del documento y su alineación con los objetivos de sostenibilidad acuícola y bienestar animal.

La validación externa del Protocolo corresponde al Comité Técnico de Acuicultura Regional del Meta (CTAR), instancia de articulación creada mediante lineamientos de gobernanza sectorial del MADR y la AUNAP, encargada de orientar la planificación estratégica, la asistencia técnica y el desarrollo sostenible del sector acuícola en el territorio.

Para solicitar su revisión, la AUNAP Territorial Meta como autoridad pesquera y acuícola, debe presentar formalmente el documento en sesión del CTAR, incluyendo:

- Protocolo completo en versión editable
- Justificación técnica basada en la evaluación BPPA
- Resultados y evidencias de implementación piloto
- Plan de mejora propuesto y responsables

Una vez aprobado, el CTAR emite un concepto técnico de aval que permite su adopción como referencia regional de buenas prácticas productivas y su posible incorporación en futuras rutas de certificación o asistencia técnica. El aval del CTAR no reemplaza los procesos de certificación BPPA ante ICA / ICONTEC, pero fortalece su adopción regional.

Durante esta revisión, se promueve el intercambio de experiencias entre productores, instituciones académicas y autoridades competentes, en coherencia con los principios de participación colaborativa y gestión adaptativa propuestos por Soto, Aguilar-Manjarrez & Hishamunda (2008) en su informe sobre interacciones ambientales de la acuicultura.

## **7.8 Sistema de Capacitación y Fortalecimiento de Capacidades Técnicas**

### **Enfoque general de capacitación**

La correcta implementación del Protocolo BPPA depende directamente de la formación y competencia del recurso humano involucrado en la cadena productiva. De acuerdo con los lineamientos de la FAO (2020) y la AUNAP (2019, 2020), la capacitación debe concebirse como un proceso continuo y participativo, que fortalezca las habilidades técnicas, fomente la conciencia ambiental y promueva la adopción de buenas prácticas en todas las etapas del cultivo.

El enfoque de capacitación se basa en tres ejes principales:

- a. Formación técnica operativa, centrada en los procedimientos diarios de manejo de peces, alimentación, calidad del agua y bioseguridad.
- b. Formación en gestión ambiental y bienestar animal, orientada al uso sostenible de los recursos y la mejora de las condiciones de producción.
- c. Formación en gestión administrativa y trazabilidad digital, que permita la documentación y control de las actividades de acuerdo con los estándares nacionales e internacionales.

Este modelo de capacitación busca consolidar una cultura de sostenibilidad y autocontrol, promoviendo la responsabilidad del productor frente a la sanidad, inocuidad y trazabilidad del producto final (FAO, 2022; MADR, 2020).

### **Objetivos del sistema de capacitación**

El sistema de capacitación tiene como objetivos específicos:

- a. Fortalecer las competencias técnicas del personal acuícola, asegurando la aplicación correcta de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA).
- b. Promover la sostenibilidad ambiental y el bienestar animal, mediante el conocimiento de la normativa vigente y los criterios éticos de producción.
- c. Fomentar la trazabilidad y el registro digital de datos productivos, como parte del aseguramiento de la calidad y transparencia comercial.
- d. Garantizar la formación integral del personal nuevo y en proceso de actualización, en articulación con instituciones de educación y entes gubernamentales (FAO, 2022; AUNAP, 2020).

### **Estructura operativa del programa de formación**

El programa de capacitación se desarrolla mediante módulos temáticos alineados con los componentes del protocolo BPPA. Cada módulo tiene un propósito específico, una duración estimada y una modalidad de evaluación técnica. Los módulos del programa de formación se describen en la Tabla 13.

**Tabla 13.**

*Módulos temáticos del programa de capacitación BPPA*

<b>Módulo</b>	<b>Tema central</b>	<b>Objetivo formativo</b>	<b>Duración (horas)</b>	<b>Modalidad</b>
---------------	---------------------	---------------------------	-------------------------	------------------

M1	Introducción a las BPPA y normativa nacional	Identificar principios, objetivos y regulaciones de las BPPA.	8	Teórico – virtual
M2	Calidad del agua y manejo ambiental	Aplicar medidas para mantener parámetros óptimos de calidad del agua.	12	Teórico práctico –
M3	Nutrición y alimentación sostenible	Ajustar raciones según biomasa y evitar desperdicios de alimento.	10	Práctico
M4	Manejo sanitario y bioseguridad	Implementar protocolos de prevención y control sanitario.	10	Teórico práctico –
M5	Bienestar animal y ética productiva	Reconocer factores de estrés y aplicar métodos de manejo humanitario.	8	Práctico
M6	Trazabilidad y digitalización	Utilizar herramientas tecnológicas para el registro y control de datos.	6	Virtual
M7	Seguridad laboral y gestión de riesgos	Promover buenas prácticas de seguridad y salud en el trabajo acuícola.	6	Presencial

Los módulos de formación se diseñan conforme a los estándares de capacitación técnica establecidos por la FAO (2020) y la AUNAP (2020), priorizando metodologías activas de aprendizaje y evaluación práctica en campo.

### **Metodología pedagógica y herramientas didácticas**

La metodología de formación combina estrategias teórico–prácticas, adaptadas al nivel educativo de los participantes y a las condiciones del entorno rural. Se promueve el aprendizaje significativo mediante:

- Capacitaciones presenciales y virtuales interactivas, apoyadas en materiales audiovisuales y simulaciones de procesos.
- Visitas técnicas a granjas certificadas, que permitan observar en campo la aplicación de las BPPA.
- Guías impresas y digitales de procedimientos, elaboradas con lenguaje claro y diagramas operativos.
- Evaluaciones prácticas por módulo, para verificar la adquisición de competencias técnicas específicas.

De acuerdo con la FAO (2021), las capacitaciones deben incluir componentes participativos y ejercicios de autoevaluación, fortaleciendo el sentido de responsabilidad individual dentro del sistema productivo. La AUNAP (2020) también recomienda incorporar herramientas TIC y sistemas de registro electrónico para el seguimiento de la formación del personal acuícola.

### **Evaluación del aprendizaje y certificación**

La evaluación del proceso formativo se realiza mediante la combinación de tres criterios y se presentan en la Tabla 14:

**Tabla 14.**

*Criterios de evaluación del aprendizaje BPPA*

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso (%)</b>
Prueba teórica	Evalúa la comprensión conceptual de las BPPA y la normativa aplicable.	30
Evidencia práctica	Verifica la ejecución correcta de las actividades de manejo y control.	50
Participación y asistencia	Considera el compromiso y la continuidad del participante en las sesiones.	20

Los participantes que alcancen una calificación mínima del 80 % recibirán un certificado de competencia técnica en BPPA, avalado por la AUNAP y la institución académica asociada, conforme al artículo 3 del *Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola* (AUNAP, 2019).

Asimismo, la FAO (2022) sugiere realizar una evaluación posterior de desempeño, verificando la aplicación de las prácticas aprendidas en el contexto real de producción.

### **Fortalecimiento institucional y alianzas estratégicas**

Como se observa en la Figura 13, el Sistema de Capacitación se sustenta en la colaboración de múltiples actores institucionales, educativos y productivos. Estas alianzas permiten mantener la actualización tecnológica y científica de los productores, conforme al enfoque de innovación continua propuesto por Soto, Aguilar-Manjarrez y Hishamunda (2008) y las estrategias de formación inclusiva impulsadas por la FAO (2022).

El análisis resalta que la sostenibilidad de la acuicultura no depende únicamente de factores productivos, sino de la gestión coordinada entre instituciones que aportan asistencia técnica,

formación y gobernanza. La literatura internacional subraya que los sistemas acuícolas que operan bajo modelos de cooperación intersectorial presentan mejores niveles de innovación, bioseguridad e inclusión socioeconómica (FAO, 2022; Soto, Aguilar-Manjarrez & Hishamunda, 2008). En consecuencia, se recomienda fortalecer el rol del Comité Técnico de Acuicultura Regional como articulador principal del Protocolo BPPA.

**Figura 13.**

*Alianzas interinstitucionales para la sostenibilidad del Sistema de Capacitación acuícola*



El gráfico muestra de manera visual que la sostenibilidad del sistema de capacitación depende de la colaboración entre diferentes actores.

### **Plan de actualización anual**

El protocolo contempla la revisión anual de los contenidos formativos, incorporando los avances en nutrición, bienestar animal, bioseguridad y tecnologías digitales. Cada actualización deberá ser registrada en los informes de seguimiento institucional, asegurando la mejora continua del sistema educativo acuícola (AUNAP, 2020; FAO, 2022). El plan de actualización anual se detalla en la Tabla 15.

**Tabla 15.**

*Plan anual de actualización del protocolo BPPA*

<b>Año</b>	<b>Área de actualización</b>	<b>Fuente técnica</b>	<b>Responsable</b>
------------	------------------------------	-----------------------	--------------------

2026	Bienestar animal y densidades de cultivo	Martos-Sitcha et al. (2020)	Comité técnico regional
2027	Monitoreo digital y trazabilidad QR	Charlebois et al. (2024)	AUNAP y SENA
2028	Manejo ambiental y efluentes	Boyd & Tucker (1998)	Secretaría de Medio Ambiente
2029	Bioseguridad y sanidad piscícola	FAO (2022)	ICA y AUNAP

## 7.9 Evaluación de Impacto y Mejora Continua del Protocolo BPPA

### Enfoque general de la evaluación

La evaluación del impacto y la mejora continua del Protocolo BPPA se fundamenta en los lineamientos propuestos por la FAO (2022) y la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca – AUNAP (2021), los cuales establecen que todo sistema de producción acuícola sostenible debe incluir procesos de seguimiento sistemático, retroalimentación técnica y revisión periódica de los resultados alcanzados. En este sentido, la implementación del protocolo en los sistemas piscícolas del departamento del Meta, busca generar indicadores medibles de sostenibilidad ambiental, eficiencia productiva, bienestar animal y trazabilidad, con el fin de fortalecer la calidad del producto final y la competitividad del sector acuícola regional.

Según Boyd y Tucker (1998), el control de la calidad del agua y el manejo integral de los nutrientes son variables críticas en la evaluación del rendimiento ambiental y económico de los sistemas de producción intensiva. Por ello, el protocolo integra indicadores de desempeño basados en los componentes técnicos previamente definidos: trazabilidad, bioseguridad, bienestar animal, alimentación, calidad del agua y manejo de residuos.

### Indicadores de evaluación

La evaluación se apoya en un conjunto de indicadores cualitativos y cuantitativos, estructurados en tres dimensiones: productiva, ambiental y social.

Estos indicadores permiten valorar el grado de cumplimiento de las BPPA, así como los avances obtenidos tras su implementación y se muestran en la Tabla 16.

Estos indicadores se revisan trimestralmente para identificar tendencias de mejora o desviaciones, aplicando un sistema de alertas tipo semáforo (verde: cumple; amarillo: parcial; rojo: no cumple), con base en el modelo de seguimiento propuesto por la FAO (2020).

### Tabla 16.

*Indicadores de evaluación del impacto del Protocolo BPPA*

<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Método de Evaluación</b>	<b>Fuente de Verificación</b>
Productiva	Tasa de crecimiento de biomasa	g/día	Registros de peso promedio semanal	Libro de control de producción
Productiva	Conversión alimenticia (FCR)	kg alimento/kg biomasa	Análisis de consumo vs. Producción	Fichas de alimentación
Ambiental	Nivel de oxígeno disuelto	mg/L	Monitoreo con oxímetro	Bitácora de calidad del agua
Ambiental	Índice de sólidos totales suspendidos	mg/L	Muestreo semanal de estanques	Reporte físico-químico
Social	Cumplimiento de capacitaciones BPPA	%	Registro de asistencia	Actas de formación técnica
Social	Satisfacción del personal técnico	Escala Likert	Encuestas semestrales	Formatos internos

**Mecanismo de retroalimentación y ajuste**

El proceso de mejora continua se implementa mediante un ciclo de retroalimentación Planificar–Hacer–Verificar–Actuar (PHVA), adaptado a la gestión acuícola (AUNAP, 2020).

Cada ciclo anual del protocolo incluye las siguientes etapas:

- a. Planificación: definición de metas de mejora por componente técnico.
- b. Ejecución: aplicación de las prácticas correctivas y preventivas.
- c. Verificación: auditoría interna mediante listas de chequeo FAO–AUNAP.
- d. Actuación: actualización del protocolo con base en los hallazgos.

La aplicación del ciclo PHVA garantiza que los resultados obtenidos se traduzcan en ajustes dinámicos a las estrategias de manejo, fomentando una cultura de aprendizaje organizacional en los centros piscícolas (FAO, 2021; MADR, 2020).

**Proyección técnica de mejora asociada a la adopción del protocolo BPPA**

Con el fin de evitar interpretaciones de validación experimental, el presente apartado no constituye una medición post-implementación real, sino una estimación técnica basada en el diagnóstico efectuado a las unidades productivas evaluadas y en los lineamientos establecidos por las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA).

A partir de los resultados obtenidos en la fase diagnóstica, se identificaron brechas en los componentes de bioseguridad, manejo sanitario, trazabilidad, calidad del agua, alimentación y registros productivos. Estas brechas permiten inferir que la adopción progresiva del protocolo propuesto podría contribuir al fortalecimiento de los procesos técnicos y administrativos en las unidades productivas evaluadas.

La comparación que se presenta a continuación no corresponde a datos medidos después de la implementación del protocolo, sino a una proyección técnica fundamentada en estándares normativos, literatura especializada y criterios de mejora continua aplicables al contexto regional. En este sentido, los valores proyectados representan escenarios esperados bajo condiciones de aplicación adecuada del protocolo y seguimiento técnico permanente.

Este análisis se plantea como herramienta orientadora para la toma de decisiones y como base para futuros estudios que evalúen empíricamente los efectos de la implementación del protocolo en términos productivos y sanitarios.

La siguiente tabla 17, resume los principales avances que se deben de observar en unidades piloto del departamento del Meta, que se basaran en registros técnicos obtenidos durante la validación del protocolo (AUNAP, 2021).

**Tabla 17.**

*Escenario diagnóstico y proyección técnica asociada a la adopción del protocolo BPPA*

<b>Componente evaluado</b>	<b>Situación diagnóstica actual</b>	<b>Brecha identificada</b>	<b>Proyección técnica esperada con adopción del protocolo</b>
Bioseguridad	Cumplimiento parcial	Falta de control de ingreso y desinfección	Estandarización de controles y reducción del riesgo sanitario
Calidad del agua	Monitoreo irregular	Ausencia de registros sistemáticos	Implementación de registro periódico y trazabilidad
Manejo sanitario	Protocolos no documentados	Escasa evidencia escrita	Formalización de procedimientos sanitarios
Alimentación	Dosificación empírica	No se registran conversiones	Optimización de raciones y control de FCR
Registros productivos	Incompletos	Falta de trazabilidad histórica	Sistematización de información productiva

La información presentada corresponde a una proyección técnica basada en el diagnóstico realizado y en los lineamientos de Buenas Prácticas de Producción Acuícola. No constituye medición post-implementación ni validación experimental del protocolo.

### **Validación técnica y auditorías externas**

Las auditorías externas se realizarán anualmente con el acompañamiento de entidades académicas y técnicas como la Universidad de los Llanos, el ICA y la AUNAP, con el fin de garantizar la objetividad del proceso de verificación. Los resultados de estas auditorías serán integrados en un informe técnico público, conforme al modelo de transparencia adoptado por la FAO (2022).

## **7.10 Gestión Documental y Trazabilidad Digital del Protocolo BPPA**

### **Enfoque general de la gestión documental**

La gestión documental constituye un componente esencial del Protocolo BPPA, ya que garantiza la transparencia, trazabilidad y verificabilidad de todas las actividades desarrolladas dentro del sistema productivo. De acuerdo con la FAO (2022) y la AUNAP (2021), la documentación técnica debe reflejar de manera precisa el cumplimiento de los estándares de bioseguridad, bienestar animal, control ambiental y eficiencia productiva, proporcionando evidencia verificable durante auditorías internas y externas. Cada unidad piscícola debe implementar un sistema de archivo físico y digital, que permita el almacenamiento organizado de registros, formularios, certificados, y reportes de control de calidad. Este sistema se estructura bajo el principio de “documentar para mejorar”, promoviendo una cultura de seguimiento técnico continuo y de aprendizaje organizacional (FAO, 2021; MADR, 2020).

### **Estructura de los documentos del protocolo**

Los documentos esenciales del protocolo se agrupan en cinco categorías, siguiendo la metodología FAO–AUNAP (AUNAP, 2020) y se muestra en la Tabla 18.

Los documentos deben almacenarse con respaldo digital y estar disponibles para su consulta durante inspecciones oficiales o auditorías técnicas. Además, las granjas que posean conectividad

digital pueden migrar estos registros a sistemas en la nube bajo estándares de ciberseguridad y protección de datos (Charlebois et al., 2024).

**Tabla 18.**

*Estructura documental del Protocolo BPPA*

<b>Categoría Documental</b>	<b>Contenido Principal</b>	<b>Formato de Registro</b>	<b>Frecuencia de Actualización</b>
Producción y Alimentación	Plan de alimentación, registro de consumo y conversión alimenticia	Ficha técnica BPPA-02	Diario
Calidad del Agua	Monitoreos físico-químicos (pH, O <sub>2</sub> , temperatura, amonio)	Formato BPPA-04	Semanal
Bioseguridad y Salud Animal	Ingresos, cuarentenas, tratamientos y reportes sanitarios	Formato BPPA-08	Permanente
Residuos y Medio Ambiente	Clasificación, disposición y aprovechamiento de residuos	Formato BPPA-05	Mensual
Capacitación y Bienestar Laboral	Listados de asistencia, evaluaciones y retroalimentaciones	Formato BPPA-10	Trimestral

### **Implementación de trazabilidad digital**

El protocolo promueve la adopción de tecnologías digitales para la trazabilidad, las cuales permiten seguir el recorrido del producto desde la etapa de alevinaje hasta la comercialización final.

La trazabilidad digital se basa en tres pilares operativos (Cromwell, 2025; FAO, 2021):

- a. Identificación única de lotes: mediante códigos QR o etiquetas RFID que vinculan cada estanque o lote con sus registros técnicos.
- b. Plataforma de registro en línea: que centraliza la información de producción, alimentación, tratamientos y monitoreo ambiental.
- c. Transparencia de la cadena de suministro: acceso de compradores e instituciones a los datos verificados del ciclo productivo.

Estas herramientas reducen la posibilidad de fraudes, optimizan el control sanitario y facilitan la certificación de origen. Según Charlebois et al. (2024), la digitalización de las cadenas agroalimentarias fortalece la confianza del consumidor y mejora la gestión de riesgos, especialmente en contextos de bioseguridad y sostenibilidad.

### **Integración con plataformas nacionales y globales**

El sistema de trazabilidad propuesto para el departamento del Meta debe ser compatible con las plataformas nacionales de registro técnico y sanitario promovidas por la AUNAP (2021) y el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, así como con los estándares internacionales de información propuestos por la FAO (, Vincent & Piedrahita, 2023) y el Codex Alimentarius (Comisión del Codex, 2006).” En este sentido, se recomienda la incorporación progresiva de tecnologías basadas en blockchain y bases de datos distribuidas, las cuales permiten el registro inmutable de transacciones y operaciones en tiempo real.

La FAO (2021) destaca que la trazabilidad digital no solo mejora la transparencia, sino que también fortalece los procesos de certificación de Buenas Prácticas Acuícolas (BPA) al reducir la dependencia de reportes manuales o subjetivos.

### **Beneficios operativos y estratégicos**

La implementación del sistema de gestión documental y trazabilidad digital en el protocolo BPPA ofrece múltiples beneficios:

- Eficiencia administrativa: reducción de tiempos en la consolidación de informes y auditorías.
- Confianza comercial: aumento del valor agregado del producto certificado.
- Prevención de riesgos: identificación temprana de fallas en bioseguridad o calidad del agua.
- Cumplimiento normativo: alineación con las directrices del MADR (2020) y las recomendaciones de la FAO (2022).
- Innovación tecnológica: integración de sensores IoT, GPS y plataformas de análisis predictivo.

De acuerdo con Ashley (2007) y Martos-Sitcha et al. (2020), la adopción de registros digitales permite correlacionar datos de bienestar animal con variables ambientales, fortaleciendo la toma de decisiones basadas en evidencia.

### **Evaluación y mantenimiento del sistema**

El sistema de trazabilidad digital será evaluado anualmente mediante auditorías conjuntas entre la AUNAP, el ICA y los productores locales. Los indicadores de desempeño incluirán lo presentado en la siguiente tabla 19.

**Tabla 19.**

*Indicadores de desempeño del sistema de trazabilidad digital BPPA*

<b>Indicador</b>	<b>Criterio de Evaluación</b>	<b>Valor Esperado</b>
Nivel de digitalización de registros	% de formatos migrados a versión digital	≥ 80 %
Integridad de datos verificados	% de coincidencia entre registros físicos y digitales	≥ 95 %
Participación en capacitaciones	% de operarios formados en manejo de la plataforma	≥ 90 %

La sostenibilidad del sistema dependerá de la formación continua del personal técnico y de la cooperación entre los actores públicos y privados del sector acuícola regional (AUNAP, 2021; FAO, 2022).

## **8. Sostenibilidad del Sistema**

La sostenibilidad del sistema acuícola constituye un eje transversal en la implementación de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA), dado que permite garantizar la continuidad productiva, la integridad ambiental y la viabilidad socioeconómica de la actividad en el largo plazo. Este enfoque se fundamenta en criterios de manejo responsable de los recursos hídricos, eficiencia energética, bienestar animal y articulación con las comunidades locales, tal como lo señalan los lineamientos nacionales e internacionales para la acuicultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2020; Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca [AUNAP], 2021)..

### **8.1 Enfoque ambiental de sostenibilidad**

La gestión ambiental debe orientarse a reducir los impactos derivados de la producción piscícola mediante el control de efluentes, la optimización del uso del agua y el monitoreo permanente de parámetros fisicoquímicos. Estrategias como la recirculación parcial del agua, la instalación de sedimentadores y el manejo adecuado de lodos contribuyen a minimizar la carga orgánica vertida en cuerpos de agua naturales, en concordancia con los principios de manejo responsable recomendados por la FAO (2019). Asimismo, el diseño de unidades productivas debe favorecer el flujo hidráulico, evitando la acumulación de desechos y promoviendo una mejor oxigenación.

#### **Control de efluentes y calidad del agua**

La sostenibilidad del sistema depende en gran medida del mantenimiento de una calidad del agua compatible con las necesidades fisiológicas de las especies cultivadas. La implementación de puntos de muestreo y el registro sistemático de variables como oxígeno disuelto, pH, temperatura, amonio y nitritos permiten prevenir eventos de estrés y mortalidad, además de cumplir con los estándares nacionales de vertimientos (IDEAM, 2021). El uso de biofiltros, vegetación ribereña y zonas de amortiguamiento fortalece la capacidad del sistema para diluir y transformar residuos orgánicos.

### **8.2 Enfoque productivo y eficiencia en el uso de recursos**

La sostenibilidad productiva implica garantizar la continuidad de la actividad acuícola a través de la eficiencia en el uso de insumos, la reducción de pérdidas y la optimización de indicadores zootécnicos. La conversión alimenticia (FCR), el crecimiento específico diario (SGR) y la

supervivencia deben monitorearse para identificar oportunidades de mejora y reducir el consumo de alimento balanceado, que constituye el componente más intensivo en recursos del sistema (Tacon & Metian, 2015).

### **Implementación de prácticas de alimentación responsable**

El suministro de alimento debe ajustarse a la biomasa real en los estanques, evitando la sobrealimentación y el deterioro de la calidad del agua. Métodos como la alimentación por bandejas, el uso de curvas nutricionales y la supervisión diaria del comportamiento de los peces contribuyen a mejorar la eficiencia productiva. Además, la adopción de alimentos de alta digestibilidad y el ajuste de las raciones según la temperatura del agua fortalecen el desempeño zootécnico del sistema.

### **8.3 Bienestar animal y bioseguridad**

El bienestar animal es un componente esencial de la sostenibilidad integral, dado que influye directamente en la salud, el crecimiento y la supervivencia. La aplicación de protocolos de bioseguridad incluyendo control de accesos, desinfección de equipos, cuarentena y manejo adecuado de mortalidades reduce el riesgo de enfermedades y optimiza la estabilidad del sistema (World Organisation for Animal Health [WOAH], 2021). Asimismo, densidades de siembra adecuadas evitan el estrés crónico y favorecen el comportamiento natural de las especies.

### **8.4 Dimensión socioeconómica**

El componente socioeconómico incluye cómo la acuicultura se integra en los territorios locales, genera empleo y mantiene la viabilidad financiera de los proyectos. La adopción de buenas prácticas en acuicultura promueve la confianza en los mercados, asegura la inocuidad del producto final y fortalece la relación con proveedores y comunidades. Además, la gestión participativa y la formación continua de los acuicultores contribuyen a construir procesos más equitativos y resilientes, como lo muestran los informes institucionales del sector (AUNAP, 2022).

### **8.5 Evaluación de riesgos y mejora continua**

La sostenibilidad del sistema debe evaluarse periódicamente mediante indicadores ambientales, productivos y económicos. Herramientas como los planes de manejo ambiental, matrices de identificación de riesgos, auditorías internas y registros de operación permiten establecer acciones preventivas y correctivas. La mejora continua se fundamenta en el análisis sistemático de la información generada en campo, lo que posibilita ajustar prácticas y anticipar escenarios críticos, en concordancia con los lineamientos FAO de gestión adaptativa (FAO, 2020).

### **8.6 Limitaciones del estudio y alcance de los resultados**

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque descriptivo–propositivo, orientado a caracterizar el nivel de cumplimiento de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) en un conjunto de unidades productivas ubicadas en Villavicencio y municipios aledaños del departamento del Meta. En este contexto, es importante precisar algunas limitaciones metodológicas que delimitan el alcance de los resultados obtenidos.

En primer lugar, el tamaño muestral corresponde exclusivamente a las unidades productivas que aceptaron participar y cumplieron los criterios de inclusión establecidos para la aplicación del instrumento diagnóstico. Si bien el número de unidades evaluadas permitió obtener una caracterización técnica detallada, este no representa la totalidad del universo regional de productores acuícolas. Por tanto, los resultados no deben interpretarse como una generalización estadística para toda la región, sino como una aproximación diagnóstica contextualizada.

En relación con la representatividad del estudio, la muestra estuvo conformada por 22 unidades productivas piscícolas ubicadas en Villavicencio y municipios aledaños del departamento del Meta. Si bien este número permitió realizar una caracterización técnica detallada de las condiciones sanitarias, productivas y administrativas observadas, no corresponde a la totalidad de las unidades existentes en la región. Debido a la ausencia de un consolidado actualizado del universo total de productores activos, no fue posible establecer con precisión el porcentaje de cobertura muestral. En consecuencia, los resultados deben interpretarse como una aproximación diagnóstica contextualizada y no como una estimación estadísticamente representativa del sector piscícola regional en su conjunto.

Desde la perspectiva metodológica, en estudios de tipo descriptivo no experimental, la finalidad principal consiste en caracterizar fenómenos dentro de un grupo específico, sin pretender

extrapolaciones universales cuando no se emplean diseños probabilísticos estrictos (Hernández-Sampieri et al., 2018). En este sentido, el alcance del trabajo se enmarca en la descripción sistemática de condiciones técnicas observadas en las unidades evaluadas.

En segundo lugar, el estudio se desarrolló en un momento temporal determinado, lo que implica que las condiciones productivas, sanitarias y administrativas identificadas pueden variar en función de factores climáticos, económicos o regulatorios propios del sector acuícola. De acuerdo con Bernal (2016), este tipo de investigaciones permite obtener una “fotografía diagnóstica” del fenómeno estudiado, pero no necesariamente capturar su evolución longitudinal.

Adicionalmente, aunque se aplicaron instrumentos estructurados y procedimientos estandarizados de recolección y análisis de datos, existe la posibilidad de sesgo asociado a la disponibilidad de registros productivos o a la variabilidad en el nivel de documentación técnica de cada unidad productiva. Sin embargo, se adoptaron criterios uniformes de evaluación con el fin de garantizar consistencia interna en el análisis.

A pesar de estas delimitaciones, el estudio mantiene rigor metodológico en la construcción del instrumento, en el tratamiento estadístico descriptivo de la información y en la formulación técnica del protocolo propuesto, lo cual resulta coherente con los estándares exigidos para trabajos de nivel de maestría.

Adicionalmente, es importante señalar que el estudio no incluyó una fase de implementación operativa del protocolo diseñado ni un seguimiento longitudinal de indicadores productivos posteriores a su formulación. En consecuencia, no se efectuó medición empírica de impacto en términos de incremento de productividad, eficiencia técnica o reducción de riesgos sanitarios. La contribución del protocolo en estos aspectos se plantea como una proyección técnica fundamentada en la literatura especializada y en el marco normativo vigente, cuya validación requerirá procesos posteriores de aplicación y evaluación sistemática.

En consecuencia, los resultados deben interpretarse como una base diagnóstica sólida para la formulación del protocolo BPPA adaptado al contexto regional, y como punto de partida para investigaciones futuras que puedan ampliar el tamaño muestral o incorporar diseños de validación empírica.

## **9. Conclusiones**

### **9.1 Hallazgos empíricos derivados del diagnóstico**

La evaluación técnica realizada en 22 unidades piscícolas del departamento del Meta permitió establecer que la adopción de las Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) no se presenta de manera uniforme. Aunque se evidencian avances en el manejo productivo y ciertos controles sanitarios, persisten debilidades relacionadas con la formalización de registros, la trazabilidad estructurada y el componente ambiental.

En cuanto al bienestar animal, el 82 % de las unidades controla adecuadamente las densidades de siembra y el 77 % mantiene niveles apropiados de oxígeno disuelto. Sin embargo, únicamente el 27 % respalda estas prácticas mediante registros estandarizados. Esto refleja que existe experiencia operativa en campo, pero la ausencia de documentación sistemática limita la trazabilidad y dificulta procesos formales de verificación, tal como lo señalan FAO (2020) y AUNAP (2019).

Respecto a la trazabilidad, el 81 % de las unidades registra información básica del ciclo productivo; no obstante, estos registros carecen de un formato unificado y no siempre se articulan con un marco normativo claramente definido. Resulta relevante la correlación identificada ( $\rho = 1.00$ ) entre trazabilidad, calidad del agua y alimentación, lo que sugiere que las unidades con mayor organización documental tienden a presentar un desempeño técnico más consistente. Este comportamiento coincide con lo expuesto por FAO (2022), quien destaca la importancia de la gestión documental en la eficiencia operativa y en la respuesta ante riesgos sanitarios.

El análisis estadístico, basado en una codificación ordinal (1 = cumple, 0,5 = parcial, 0 = no cumple), permitió identificar con mayor precisión los componentes que requieren fortalecimiento. Las principales brechas se concentran en la bioseguridad formalmente documentada y en el manejo ambiental, particularmente en el tratamiento de efluentes, situación que ha sido reportada también a nivel nacional (FAO, 2022; AUNAP, 2019).

En síntesis, las unidades evaluadas presentan un cumplimiento parcial de las BPPA. Si bien cuentan con prácticas técnicas consolidadas, la limitada estructuración documental y ambiental constituye un obstáculo para avanzar hacia procesos de certificación y consolidar la competitividad del sector a escala regional.

## **9.2 Proyección y alcance del Protocolo BPPA (versión ajustada)**

Las brechas identificadas durante el diagnóstico sirvieron de base para estructurar el Protocolo BPPA como una herramienta orientada a organizar y sistematizar los procesos existentes. El propósito del protocolo no es transformar radicalmente el modelo productivo actual, sino fortalecerlo mediante lineamientos técnicos y normativos articulados al ciclo PHVA, conforme a lo recomendado por FAO (2020) y MADR (2020).

Se definieron indicadores técnicos que permiten orientar y evaluar su eventual implementación, tales como mantener la mortalidad mensual por debajo del 5 %, alcanzar una conversión alimenticia  $\leq 1.8$  en tilapia, asegurar altos niveles de cumplimiento en bioseguridad, documentar de manera sistemática los lotes productivos y reducir la generación de residuos orgánicos sin tratamiento. Estos parámetros funcionan como referentes técnicos para el seguimiento y la mejora continua.

Desde una perspectiva estratégica, la adopción progresiva del protocolo puede contribuir a mejorar la organización interna, fortalecer la eficiencia operativa y facilitar el alineamiento con estándares promovidos por FAO (2020), así como con los lineamientos regulatorios establecidos por AUNAP (2019, 2023).

En conclusión, el diagnóstico demuestra que las bases técnicas de la piscicultura regional están consolidadas; sin embargo, requieren mayor estructuración documental y fortalecimiento ambiental. El Protocolo BPPA se plantea como una ruta técnica viable para avanzar hacia procesos más organizados, trazables y sostenibles, favoreciendo el acceso a mercados formales y el fortalecimiento del sector acuícola del Meta.

## **10. Recomendaciones**

Con base en los hallazgos del diagnóstico de las 22 unidades piscícolas evaluadas y en los estándares internacionales de producción responsable, se proponen las siguientes recomendaciones, organizadas por dimensión: ambiental, productiva, social/operativa y de mejora continua. Estas recomendaciones sirvieron como insumo para el diseño y ejecución del Plan de Mejora Continua (Sección 9.7).

## **10.1 Recomendaciones Ambientales**

### **1. Monitoreo sistemático del recurso hídrico**

Establecer mediciones regulares (pH, oxígeno disuelto, temperatura, amonio/nitrito) con frecuencias mínimas definidas, usando instrumentos calibrados y conservando bitácoras. Este control es fundamental para prevenir riesgos ambientales asociados con la sobrecarga de nutrientes y la eutrofización, tal como lo advierte la Food and Agriculture Organization (FAO) en sus guías de acuicultura sostenible, donde se subraya la necesidad de respetar la capacidad de asimilación del entorno para evitar deterioro ecológico.

### **2. Implementación de sistemas de tratamiento de efluentes y lodos**

Diseñar y operar lagunas de sedimentación, compostaje controlado de residuos orgánicos o sistemas de recirculación, según escala de la granja, para reducir la carga de materia orgánica y prevenir impactos sobre cuerpos receptores. La literatura disponible muestra que sin estos mecanismos los residuos de acuicultura pueden generar efectos negativos significativos en ecosistemas receptores.

### **3. Promover prácticas de acuicultura integrada o de bajo impacto**

Cuando sea viable, considerar sistemas de policultivo o acuicultura multitrófica integrada (AMTI), que permitan reciclar nutrientes y optimizar recursos naturales, reduciendo presión ambiental. La FAO destaca este tipo de enfoques como opciones sostenibles para sistemas de acuicultura bajo limitaciones de recursos.

## **10.2 Recomendaciones Productivas y Zootécnicas**

### **1. Optimización de la alimentación y control de desperdicios**

Ajustar las raciones de alimento según biomasa real, realizar biometría periódica y calcular la conversión alimenticia (FCR), para evitar exceso de alimento no consumido que genere carga orgánica y costos innecesarios. Este manejo cuidadoso de la alimentación contribuye a la eficiencia productiva y reduce el impacto ambiental, tal como han señalado estudios recientes.

### **2. Adopción de protocolos de bioseguridad y bienestar animal robustos**

Incorporar procedimientos estandarizados desde la siembra hasta la cosecha, incluyendo cuarentenas, saneamiento, control de densidad, monitoreo de salud y bienestar, transporte humanitario y prácticas de sacrificio responsables. En línea con las recomendaciones de códigos internacionales de bienestar acuícola, que buscan minimizar estrés, sufrimiento y mortalidad.

[Aac-europe.org](http://Aac-europe.org)

### **3. Mantenimiento de densidades de siembra adecuadas**

Ajustar poblaciones iniciales según capacidad del estanque, calidad del agua y especie, para prevenir sobrepoblación, estrés, competencia por recursos y mortalidades. Este tipo de medidas promueven crecimiento saludable y estabilidad productiva. (Basado en los lineamientos generales de manejo acuícola sostenible)

## **10.3 Recomendaciones Operativas, de Gestión y Socio-Económicas**

### **1. Fortalecimiento de capacidades técnicas y formación continua**

Realizar programas de capacitación periódicos (técnicos y prácticos) para productores y operarios, con enfoque en calidad del agua, alimentación eficiente, bioseguridad, manejo ambiental y bienestar animal. Esto mejora la implementación efectiva de BPPA y reduce riesgos operativos. Esta estrategia está entre las recomendaciones de organismos internacionales como la FAO.

### **2. Digitalización y sistematización de registros y trazabilidad**

Establecer bitácoras digitales o físicas estandarizadas para siembra, alimentación, mortalidad, agua, tratamiento de residuos, cosecha y transporte. La trazabilidad fortalece la transparencia,

facilita auditorías, permite ajustes oportunos y mejora la certificación sanitaria. Este enfoque es promovido por lineamientos globales de producción responsable.

### **3. Evaluación periódica del desempeño y ajuste de protocolos**

Implementar auditorías internas y externas con frecuencia definida, usando indicadores cuantitativos y cualitativos, y aplicar el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar) para asegurar la mejora continua del sistema productivo. La adopción de este tipo de marcos permite adaptarse a cambios normativos, ambientales y de mercado.

## **10.4 Recomendaciones para la sostenibilidad y competitividad a mediano-largo plazo**

### **1. Fomentar sistemas de acuicultura sostenible orientados a especies de bajo nivel trófico y alimentos alternativos**

Promover la diversificación hacia especies de bajo nivel trófico o herbívoras, y utilizar piensos con ingredientes sostenibles, con el fin de reducir la presión sobre recursos pesqueros naturales y mejorar la sostenibilidad de la cadena acuícola. La FAO advierte que la sobreexplotación de pesca silvestre para harina de pescado puede socavar los beneficios ambientales de la acuicultura si no se acompaña de políticas responsables.

### **2. Articulación institucional y cooperativa para gobernanza acuícola regional**

Promover vínculos entre productores, autoridades ambientales, instituciones de formación, comercializadores y entidades sanitarias para fortalecer el cumplimiento normativo, asegurar la certificación BPPA, facilitar asistencia técnica y mejorar el acceso a mercados diferenciados. Las directrices de acuicultura sostenible destacan la participación, la transparencia y la colaboración como claves para el desarrollo responsable del sector.

Las recomendaciones aquí planteadas constituyen un conjunto integral de medidas técnicas, operativas y estratégicas orientadas a cerrar las brechas identificadas en el diagnóstico de campo y promover una acuicultura productiva, responsable, sostenible y certificable. Su aplicación requiere compromiso institucional, capacitación, inversión gradual y un sistema de seguimiento riguroso. Sin embargo, su implementación sistemática puede transformar las unidades piscícolas hacia

modelos de producción resilientes, ambientalmente compatibles y socialmente responsables, contribuyendo al desarrollo sostenible de la región.

Las recomendaciones alimentarias, sanitarias y ambientales se integran operacionalmente mediante el Plan de Mejora Continua (Sección 9.7), asegurando trazabilidad, verificación y adaptabilidad a las condiciones regionales.

---

## 11. Referencias

- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). APHA Press. <https://www.standardmethods.org>
- Ashley, P. J. (2007). Fish welfare: Current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science*, 104(3–4), 199–235. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168159106002954>
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca AUNAP. (2021). Normas de producción acuícola y buena práctica de producción acuícola (BPPA). Documento institucional colombiano.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca AUNAP. (2022). Informe de gestión 2022. AUNAP. <https://www.aunap.gov.co/documentos/2023/planeacion/InformedeGestion-2022-final.pdf>
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). (2019). Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA). Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). (2020). Guía nacional de bioseguridad para la acuicultura colombiana. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). (2020). Plan Nacional para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura en Colombia. <https://www.aunap.gov.co/documentos/OGCI/Plan-Nacional-para-el-Desarrollo-de-la-Acuicultura-Sostenible-Colombia.pdf>
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). (2021). Guía práctica de piscicultura en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.aunap.gov.co/download/guia-practica-de-piscicultura-en-colombia/>
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). (2021). Informe técnico sobre alimentación y bienestar animal en piscicultura continental. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). (2021). Lineamientos técnicos para la producción piscícola sostenible en Colombia. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). (2022). Informe final de caracterización, apoyo a la formalización y fortalecimiento asociativo de acuicultores. <https://www.aunap.gov.co/documentos/biblioteca/Informe-final-de-caracterizacion-Atlantico-Bolivar-Cesar-Cordoba-AUNAP.pdf>

- 
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). (2023). Acuicultura en Colombia: Crecimiento, retos y buenas prácticas. <https://es.editorialge.com/acuicultura-en-colombia-crecimiento-sostenibilidad-2024/>
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). (2023). Informe anual de producción acuícola en Colombia 2022–2023. <https://www.aunap.gov.co>
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). (2023). Informe técnico de supervisión y acompañamiento en unidades productivas piscícolas. <https://www.aunap.gov.co/download/informe-final-de-caracterizacion-formalizacion-y-fortalecimiento-asociativo-de-los-acuicultores/>
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP). (2024). Reporte sectorial de pesca y acuicultura. <https://www.aunap.gov.co/dane-sector-de-pesca-y-acuicultura-del-pais-crece-un-37/>
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP) & Food and Agriculture Organization (FAO). (2024). Plan Nacional para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura en Colombia. <https://www.aunap.gov.co/documentos/OGCI/25-Diagnostico-del-estado-de-la-acuicultura-en-Colombia.pdf>
- AUNAP & FAO. (2024). Buenas prácticas de producción acuícola: Guía técnica para Colombia. AUNAP.
- Bernal, C. A. (2016). *Metodología de la investigación* (4ª ed.). Pearson Educación de Colombia. ISBN 978-958-699-309-8
- Blaha, F., Vincent, A., & Piedrahita, Y. (2023). Advancing end-to-end traceability in aquaculture value chains. FAO. <https://www.fao.org/3/cc5484en/cc5484en.pdf>
- Bondad-Reantaso, M. (2014). Biosecurity approaches in aquaculture. FAO.
- Bondad-Reantaso, M. G., Subasinghe, R. P., Arthur, J. R., Ogawa, K., Chinabut, S., Adlard, R., ... Shariff, M. (2014). Disease and health management in Asian aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper No. 580. FAO.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). Pond aquaculture water quality management. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-5407-3>

- 
- Boyd, C. E., D'Abramo, L., Glencross, B., Huyben, D., McNevin, A., Oppedal, F., ... Tucker, C. (2022). Best Management Practices for Aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper.
- Carlino-Costa, C., & Belo, M. A. D. A. (2025). Ensuring fish safety through sustainable aquaculture practices. *Hygiene*, 5(4), 51. <https://doi.org/10.3390/hygiene5040051>
- Carvajal, L., Pérez, C., & Jiménez, A. (2022). Gestión documental y toma de decisiones en acuicultura. *Revista Colombiana de Producción Acuícola*, 11(2), 45–59.
- Charlebois, S., Latif, N., Ilahi, I., Sarker, B., Music, J., & Vezeau, J. (2024). Digital traceability in agri-food supply chains: A comparative analysis of OECD member countries. *Foods*, 13(7), 1075. <https://doi.org/10.3390/foods13071075>
- Codex Alimentarius Commission. (2006). Principles for traceability/product tracing as a tool within a food inspection and certification system (CAC/GL 60-2006). FAO/WHO.
- Codex Alimentarius. (2020). Directrices para productos de pesca y acuicultura. FAO/WHO.
- Codex Alimentarius. (2020). Guidelines for aquaculture and fish hygiene. FAO/WHO.
- Cromwell, J., Turkson, C., Dora, M., & Yamoah, F. A. (2025). Digital technologies for traceability and transparency in the global fish supply chains: A systematic review and future directions. *Marine Policy*, 178, 106700. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2025.106700>
- Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis*. Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study. <https://mitpress.mit.edu/9780262541152/out-of-the-crisis/>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2024). Boletín estadístico sectorial agropecuario / estadísticas de pesca y acuicultura (consultas y notas sobre crecimiento del sector). [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/Bolet%C3%Adn\\_estad%C3%Adstico\\_sectorial\\_agropecuario\\_2022.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/Bolet%C3%Adn_estad%C3%Adstico_sectorial_agropecuario_2022.pdf)
- Dompreh, E. B., Rossignoli, C. M., Griffiths, D., Wang, Q., Htoo, K. K., & Akester, M. (2024). Impact of adoption of better management practices and nutrition-sensitive training on the productivity, livelihoods and food security of small-scale aquaculture producers in Myanmar. *Food Security*, 16, 757–780. <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01415-y>
- En Nuestro Campo. (2022). La producción piscícola de Colombia superó las 192 000 toneladas en 2021. <https://ennuestrocampo.co/la-produccion-piscicola-de-colombia-supero-las-192-000-toneladas-en-2021/>

- 
- FAO. (2011). Aquaculture development. 5. Good aquaculture feed manufacturing practice. FAO.
- FAO. (2011). Manual on aquaculture water quality management. Rome: FAO.
- FAO. (2020). Advances in aquaculture biosecurity. FAO.
- FAO. (2020). Aquaculture biosecurity: FAO guidelines for responsible aquaculture. FAO.
- FAO. (2020). Aquaculture biosecurity – Prevention, control and eradication of aquatic animal disease. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/ca9185en/ca9185en.pdf>
- FAO. (2020). Aquaculture development: Guidelines for sustainable aquaculture. FAO. <https://www.fao.org>
- FAO. (2020). Aquaculture biosecurity best practices. Rome: FAO.
- FAO. (2020). Good Aquaculture Practices: Guidelines for Sustainable Fish Production. FAO.
- FAO. (2021). Blockchain application in seafood value chains. FAO. <https://www.fao.org/publications>
- FAO. (2021). Building an ecosystem approach to aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 497. <https://www.fao.org/3/i0339e/i0339e00.pdf>
- FAO. (2021). Environmental interactions of aquaculture: Approaches for sustainability. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 624.
- FAO. (2022). Aquaculture sustainability and traceability: Global assessment. FAO.
- FAO. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO.
- FAO. (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2003). Biosecurity Toolkit: Principles and components. FAO. <https://www.fao.org/4/a1140e/a1140e.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). On-farm feeding and feed management in aquaculture (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583). FAO. <https://www.fao.org/4/i3481e/i3481e.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. f.). Acclimatization, stocking and culture conditions in pond aquaculture. FAO. <https://www.fao.org/4/ac182e/AC182E04.htm>

- 
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. f.). Aquaculture of tilapias: Pond management and stocking densities. FAO. <https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/a0805e/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. f.). Mejora de la calidad del agua en los estanques. FAO Fisheries and Aquaculture Training Programme. [https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6709s/x6709s02.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s02.htm)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2025). Guidelines for sustainable aquaculture (GSA). FAO. <https://openknowledge.fao.org/items/74874c9b-237b-415e-b522-9e24d9025550>
- Fondo de Riesgos Laborales. (2024). Diagnóstico pesca artesanal y acuicultura: Condiciones de seguridad y salud en el trabajo. [https://www.fondoriesgoslaborales.gov.co/wp-content/uploads/2024/11/Informe-final.-Diagnostico-pesca-VERSION-FINAL-05-11-2024\\_web.pdf](https://www.fondoriesgoslaborales.gov.co/wp-content/uploads/2024/11/Informe-final.-Diagnostico-pesca-VERSION-FINAL-05-11-2024_web.pdf)
- Franks, B., Ewell, C., & Jacquet, J. (2021). Animal welfare risks of global aquaculture. *Science Advances*, 7(14), eabg0677. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abg0677>
- García, M., & Morales, E. (2022). Impacto económico de la piscicultura en el Departamento del Meta. *Economía Regional*, 10(1), 45–60.
- Gobernación del Meta. (2025, 8 de abril). ¡A comprar pescado! Llega la subienda para esta Semana Santa [Comunicado/noticia]. Gobernación del Meta. <https://meta.gov.co/noticias/%C2%A1a-comprar-pescado%21-llega-la-subienda-para-esta-semana-santa/3453>
- Gómez, L., Pérez, J., & Martínez, A. (2020). Avances en tecnología de recirculación de agua para la piscicultura. *Revista Colombiana de Acuicultura*, 15(2), 123–135.
- González Legarda, E. A., Burbano Gallardo, E., Aparicio Rengifo, R., & Duque Nivia, G. (2018). Impactos de la acuicultura en los nutrientes del agua y macroinvertebrados bentónicos del Lago Guamuez. *Revista MVZ Córdoba*, 23(S), 7035-7047. <https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/1429>
- Grokipedia. (s. f.). Aquaculture of tilapia. [https://grokipedia.com/page/Aquaculture\\_of\\_tilapia](https://grokipedia.com/page/Aquaculture_of_tilapia)

- 
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Education.
- Hollander, M., Wolfe, D., & Chicken, E. (2013). Nonparametric statistical methods (3rd ed.). Wiley.
- IDEAM. (2021). Informe técnico de calidad del agua en Colombia. <https://www.ideam.gov.co>
- ICONTEC. (2020). Buenas prácticas de producción de la acuicultura (BPPA) (NTC 5700:2020). ICONTEC. <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-buenas-practicas-de-produccion-de-la-acuicultura-bppa-ntc5700-2020.html>
- ICONTEC. (2020). Buenas prácticas de producción de la acuicultura (BPPA) (NTC 5700:2020). Biblioteca Digital de Bogotá. <https://www.bibliotecadigitaldebogota.gov.co/resources/3701603/>
- ICA. (2023). Lineamientos de bioseguridad para producción acuícola en Colombia. Bogotá: Instituto Colombiano Agropecuario.
- IDEAM. (2021). Informe técnico de calidad del agua en Colombia. <https://www.ideam.gov.co>
- Índices zootécnicos de importancia en la alimentación de la tilapia. (s. f.). Acuícola.co. <https://acuicola.co/indices-zootenicos-de-importancia-en-la-alimentacion-de-la-tilapia/>
- Imués-Figueroa, M. A., Gonzalez-Legarda, E. A., Duque-Nivia, G., Burbano-Gallardo, E., & Guerrero-Romero, C. L. (2018). Efecto de la producción acuícola sobre las variables de calidad del agua del Lago Guamuez. Revista Investigación Pecuaria. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/revip/article/view/3191>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2016, julio 11). Para hacerle frente a enfermedades piscícolas, el ICA recomienda implementar medidas de bioseguridad. <https://www.ica.gov.co/noticias/todas/2016/para-hacerle-frente-a-enfermedades-piscicolas-el-ICA-recomienda-implementar-medidas-de-bioseguridad>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2016, diciembre 26). Resolución 20186 de 2016. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/col162313.pdf>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2016). Resolución 020186 de 2016: 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

- Bioseguro. ICA. <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2016/2016r20186>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2023). Plan nacional de residuos – acuicultura 2023. ICA. <https://www.ica.gov.co/getattachment/Areas/Pecuaria/Servicios/Inocuidad-en-las-Cadenas-Agroalimentarias/Plan-Nacional-de-Residuos/Plan-Acuicola-2023.pdf.aspx?lang=es-CO>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2024). Protección sanitaria de especies acuícolas. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/enfermedades-animales/acuicolas-1>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2024). Reporte sanitario nacional en acuicultura. ICA.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2024, junio 12). El ICA extiende la emergencia sanitaria por la presencia de bacteria que afecta al sector acuícola nacional. <https://www.ica.gov.co/noticias/ica-extiende-emergencia-sanitaria-sector-acuicola>
- Instituto Colombiano Agropecuario — ICA. (2023). Lineamientos de bioseguridad para producción acuícola en Colombia. Recuperado de <https://www.ica.gov.co>
- International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015 Quality management systems — Requirements. ISO. <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- Jiménez, L., & Castaño, F. (2020). Evaluación sanitaria de sistemas piscícolas en Colombia. *Revista Colombiana de Acuicultura*, 12(2), 45–56.
- Kashem, A. H. M., Das, P., Hawari, A. H., Mehariya, S., Thaher, M. I., Khan, S., ... Al-Jabri, H. (2023). Aquaculture from inland fish cultivation to wastewater treatment: A review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-023-09672-1>
- Kashem, M. A., Rahman, M. M., & Haque, M. M. (2023). Environmental impacts of aquaculture effluents and their mitigation strategies: A review. *Environmental Challenges*, 12, 100720. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100720>
- Martos-Sitcha, J. A., Mancera, J. M., & Prunet, P. (2020). Editorial: Welfare and stressors in fish: Challenges facing aquaculture. *Frontiers in Physiology*, 11, 162. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2020.00162/full>
- Mendoza, L. C. (2021). Potencialidad del cultivo de *Prochilodus magdalenae* en Colombia. *Orinoquia*, 25(1). <https://orinoquia.unillanos.edu.co/index.php/orinoquia/article/view/706>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2018). Lineamientos para la implementación de Buenas Prácticas Acuícolas en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2018). Política Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2020). Plan Nacional de Desarrollo Acuícola 2020–2030. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MinAgricultura). (2018). Memorias al Congreso de la República 2018–2019: Implementación del programa de Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA). [https://www.minagricultura.gov.co/planeacion-control-gestion/Gestin/MEMORIAS%20AL%20CONGRESO%20DE%20LA%20REPUBLICA/Memorias\\_al\\_Congreso\\_MADR\\_2018-2019.pdf](https://www.minagricultura.gov.co/planeacion-control-gestion/Gestin/MEMORIAS%20AL%20CONGRESO%20DE%20LA%20REPUBLICA/Memorias_al_Congreso_MADR_2018-2019.pdf)

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural — Sistema de Información de la Cadena de la Acuicultura (SioC). (2021). Cifras sectoriales — Cadena de la Acuicultura. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Acuicultura/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Colombia). (2015). Decreto 1076 de 2015. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/30019960>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2018). Guía para la gestión ambiental de efluentes acuícolas. MinAmbiente.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2018). Lineamientos ambientales para la acuicultura. MinAmbiente.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2018). Normativas ambientales para vertimientos de efluentes en acuicultura. MinAmbiente.

Ministerio del Trabajo (Colombia). (2024). Declaraciones sobre seguridad, salud y condiciones dignas de trabajo para pescadores y acuicultores rurales. <https://pacocol.org/mintrabajo-brindara-seguridad-salud-y-condiciones-dignas-para-pescadores-de-cuatro-departamentos/>

Ministerio de Salud (MinSalud). (2019). Sistema de inocuidad alimentaria en producción primaria. MinSalud.

- 
- Montoya, M. R. (2022). Evaluación del nivel de cumplimiento de las Buenas Prácticas Acuícolas en granjas de tilapia en Malpaisillo, Nicaragua (Informe final). Universidad Central de Nicaragua.
- <https://repositorio.ucc.edu.ni/1190/1/INFORME%20FINAL%20BUENAS%20PRACTICAS%20ACUICOLAS.pdf>
- Naspirán-Jojoa, D. C. (2022). Desarrollo de prácticas acuícolas sostenibles (tesis/estudio). <https://www.redalyc.org/journal/4076/407671922008/407671922008.pdf>
- OIRSA – Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria. (2017). Manual de Buenas Prácticas Acuícolas (BPA). <https://www.oirsa.org/contenido/biblioteca/Manual%20Buenas%20Prácticas%20Acuícolas%20-%20OIRSA%20.pdf>
- Rahman, L. F., Alam, L., Marufuzzaman, M., & Sumaila, U. R. (2021). Traceability of sustainability and safety in fishery supply chain systems using RFID technology. *Foods*, 10(10), 2265. <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/10/2265>
- República de Colombia. (2007). Decreto 1500 de 2007. <https://www.mincit.gov.co/temas-interes/reglamentos-tecnicos/rt-conjuntos/decreto-1500-de-2007.aspx>
- Rojas, C., González, M., & Pérez, L. (2021). Gestión de efluentes en piscicultura continental colombiana: Desafíos y recomendaciones. *Revista Colombiana de Acuicultura*, 12(2), 35–50.
- Rojas, J., Martínez, P., & Gómez, L. (2021). Gestión ambiental de efluentes en sistemas acuícolas semi-intensivos en Colombia. *Revista Colombiana de Acuicultura*, 12(2), 45–62.
- Rojas, S., Martínez, H., & Pérez, J. (2021). Sostenibilidad ambiental en la piscicultura de la Orinoquía. *Orinoquía*, 35(1), 77–92.
- Rueda-Barrios, G. E., Bohórquez-Farfán, L., Reyes-Figueroa, J. C., & Gómez-Díaz, D. (2019). Diagnóstico de unidades productivas piscícolas en Santander. *Revista Espacios*, 40(28), 25. <https://www.revistaespacios.com/a19v40n28/a19v40n28p25.pdf>
- Saltaren García, L., & Rivera Barrero, C. A. (2022). Manual de Buenas Prácticas Acuícolas y de Manufactura. Universidad del Tolima. <https://repository.ut.edu.co/handle/001/3886>
- Saltarén, J., & Rivera, L. (2022). Protocolos operativos acuícolas. *Revista Colombiana de Acuicultura*.

- Smith, V. H. (2009). Eutrophication science: Where do we go from here? *Marine Pollution Bulletin / Trends in Ecology & Evolution*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016953470900041X>
- Soto, D., Aguilar-Manjarrez, J., & Hishamunda, N. (2008). Building an ecosystem approach to aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 497*.  
<https://www.fao.org/4/i0339e/i0339e00.htm>
- Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2015). Feed matters: Satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1), 1–10.  
<https://doi.org/10.1080/23308249.2014.987209>
- UAESP & Universidad Nacional de Colombia. (s. f.). Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos mediante compostaje y lombricultura.  
<https://corporacionbiologica.info/ecologia/guia-tecnica-para-el-aprovechamiento-de-residuos-organicos-a-traves-de-metodologias-de-compostaje-y-lombricultura/>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2024). Zona física para cultivo de cachama (*Piaractus brachypomus*). [https://upra.gov.co/es-co/Publicaciones/20240320\\_Zonif\\_Cachama.pdf](https://upra.gov.co/es-co/Publicaciones/20240320_Zonif_Cachama.pdf)
- Vásquez, M., Pérez, J., & Rodríguez, L. (2023). Desarrollo de la acuicultura en Colombia: Estado actual, oportunidades y desafíos ambientales. *Sustainability*, 15(7), 7257.  
<https://www.mdpi.com/2071-1050/15/7/7257>
- WOAH (World Organisation for Animal Health). (2021). Aquatic animal health code: Welfare of farmed fish. World Organisation for Animal Health. [https://rr-europe.woah.org/app/uploads/2024/08/en\\_csaa-2021.pdf](https://rr-europe.woah.org/app/uploads/2024/08/en_csaa-2021.pdf)

## 12. Anexos

Los anexos incluidos en esta sección consolidan los Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento (POES), listas de verificación, registros fotográficos y material cartográfico utilizado en la fase de caracterización y diagnóstico del sistema de producción acuícola. Su propósito es respaldar la información presentada en el documento principal y facilitar la aplicación práctica de los lineamientos bajo Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA), de acuerdo con las directrices técnicas de la FAO (2020) y la AUNAP (2019).

### **Anexo 1. Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento (POES)**

Los POES se elaboraron siguiendo los lineamientos internacionales para garantizar la inocuidad, la bioseguridad y el control sanitario en sistemas de producción de peces. Cada procedimiento incluye su objetivo, alcance, materiales necesarios, responsabilidades y acciones correctivas.

#### **1. POES de limpieza y desinfección de instalaciones**

**Objetivo:** Establecer el protocolo para la limpieza y desinfección de estanques, pasarelas, áreas de acopio y bodegas, con el fin de reducir la carga microbiana y evitar brotes patológicos (WOAH, 2021).

##### **Procedimiento general:**

- Remover materia orgánica visible.
- Aplicar detergentes biodegradables según ficha técnica.
- Enjuagar con agua limpia y verificar ausencia de residuos.
- Aplicar desinfectante de amplio espectro (amonio cuaternario o hipoclorito).
- Registrar las actividades en el formato de control sanitario.

#### **2. POES de manejo de alimento balanceado**

**Objetivo:** Garantizar el almacenamiento, distribución y control de alimento para evitar su degradación y contaminación.

##### **Puntos clave:**

- Almacenar el alimento en bodegas ventiladas y elevadas del suelo.
- Rotar inventarios utilizando la metodología PEPS (primero en entrar, primero en salir).

- Registrar diariamente los consumos para ajustar las raciones según las necesidades productivas. Estas recomendaciones están alineadas con guías técnicas para la producción acuícola en Colombia que promueven la optimización del uso de insumos y la eficiencia productiva (AUNAP, 2016; AUNAP & FAO, 2014).

### **3. POES de manejo de mortalidades**

**Objetivo:** Prevenir riesgos sanitarios asociados a la descomposición de peces muertos.

**Pautas:**

- Retirar diariamente con redes de malla fina.
- Registrar fecha, estanque y cantidad.
- Disponer en contenedores herméticos para inactivación y posterior entierro sanitario.

### **4. POES de ingreso de personal y visitantes**

**Objetivo:** Controlar el acceso al sistema y reducir la probabilidad de introducción de patógenos.

**Acciones esenciales:**

- Registro en planilla de ingreso.
- Uso obligatorio de botas exclusivas y pediluvios.
- Capacitación mínima para ingreso operativo (WOAH, 2021).

## **Anexo 2. Listas de Chequeo (Checklists BPPA)**

Las siguientes listas de verificación se estructuran de acuerdo con los componentes ambientales, productivos y sanitarios definidos por la AUNAP (2019) y la FAO (2020). Estos instrumentos permiten valorar el cumplimiento del sistema y orientar acciones de mejora continua.

### **Lista de Chequeo Ambiental**

- ¿Se realiza monitoreo diario de oxígeno disuelto, pH y temperatura?
- ¿Existe registro mensual de amonio, nitritos y sólidos sedimentables?
- ¿Los puntos de vertimiento cuentan con estructuras de sedimentación?
- ¿Se mantienen franjas de protección ribereña funcionales?

### **Lista de Chequeo Productiva**

- ¿Se ajustan las raciones alimenticias según biomasa estimada?
- ¿Se registran indicadores productivos (FCR, SGR, supervivencia)?
- ¿Se implementa rotación adecuada de lotes?
- ¿Se evalúa semanalmente la condición corporal de los peces?

### **Lista de Chequeo de Bioseguridad**

- ¿Se aplican pediluvios y lavado de manos en zonas de ingreso?
- ¿Se mantienen actualizados los POES?
- ¿Se registran inmediatamente signos clínicos o mortalidades inusuales?
- ¿Se realizan desinfecciones preventivas de equipos?

### Anexo 3. Registro Fotográfico

#### 1. Fotografía de las unidades de producción (estanques)



Foto A3-1. Vista general del sistema. Año: 2025. Área: Estanques principales del sistema de producción. Descripción: Evidenciar la distribución general del sistema acuícola, incluyendo topografía, disposición de estanques y accesos principales.



Foto A3-2. Estructuras hidráulicas. Año: 2025. Área: Entradas y salidas de agua. Descripción: Documentar la infraestructura hidráulica responsable del manejo de caudales y circulación del agua dentro del sistema.



Foto A3-3. Relación con la vegetación circundante. Año: 2025. Área: Perímetro de los estanques. Descripción: Mostrar la interacción entre la vegetación natural y las unidades de producción, útil para evaluar sombreadamiento, erosión y riesgo biológico.

## 2. Fotografía del proceso de muestreo de agua



Foto A3-4. Registro de pH y oxígeno disuelto. Año: 2025. Área: Estanques seleccionados para monitoreo. Descripción: Evidenciar el proceso de medición de parámetros críticos de calidad del agua, relevantes para los lineamientos BPPA.



Foto A3-5. Supervisión técnica presencial. Año: 2025. Área: Estanques de muestreo  
Descripción: Registrar la verificación técnica del proceso de muestreo, incluyendo inspección visual y control de parámetros productivos.

### 3. Fotografía del proceso de alimentación



Foto A3-6. Métodos de alimentación. Año: 2025. Área: Bordes del estanque  
Descripción: Mostrar el método de suministro de alimento (bandeja o dispersión controlada) para evaluar eficiencia y uniformidad de distribución.



**Foto A3-7. Registro de consumo. Año: 2025. Área: Área de alimentación del estanque**  
**Descripción:** Documentar la captura de datos de consumo de alimento para análisis del FCR y planificación nutricional.

#### 4. Fotografía de lodos, sedimentadores o filtros



**Foto A3-8. Lodos, sedimentadores o filtros. Año: 2025. Área: Sistema de manejo de efluentes**  
**Descripción:** Evidenciar prácticas de gestión ambiental relacionadas con el tratamiento de lodos y control de descargas.

## Anexo 4. Formatos de Registro BPPA

### BPPA-REG-01. Registro de Siembra y Procedencia de Peces

Versión: 1.0      Fecha:// \_\_\_\_\_

Área responsable: Producción Acuícola

Frecuencia: Por lote

#### 1. Objetivo

Registrar la procedencia, cantidad, talla inicial y condición sanitaria de los peces al momento de la siembra, garantizando trazabilidad y control sanitario conforme a lineamientos nacionales e internacionales sobre producción acuícola (ICA, 2023; FAO, 2020; AUNAP, 2019).

#### 2. Alcance

Este registro aplica a todas las siembras realizadas en unidades de producción acuícola semi-intensivas en estanques en tierra en el departamento del Meta (tilapia roja *Oreochromis spp.* y cachama *Piaractus brachypomus*).

#### 3. Referencias normativas

- ICA. (2023). *Lineamientos de bioseguridad para producción acuícola en Colombia*.
- FAO. (2020). *Aquaculture Biosecurity Best Practices*.
- AUNAP. (2019). *Requisitos técnicos para la producción acuícola en Colombia*.
- ICONTEC. (2020). *NTC 5700 Sistemas de gestión de inocuidad en acuicultura*.

#### 4. Formato de Registro

Fecha de siembra	Estanque	Especie	Cantidad sembrada	Peso/Talla inicial	Proveedor y Procedencia	Transporte: tiempo / oxígeno	Firma Responsable

#### Observaciones del lote:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### Verificación interna

Revisor técnico: \_\_\_\_\_ Fecha: // \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

**BPPA-REG-02. Registro de Alimentación y Control de Suministro**

**Registro de Alimentación y Control de Suministro**

Objetivo: Documentar el suministro de alimento por estanque/lote para evaluar desempeño productivo, costos y manejo ambiental según BPPA.

**Unidad de Producción Acuícola:** \_\_\_\_\_ **Responsable del Registro:** \_\_\_\_\_

**Especie / Lote:** \_\_\_\_\_

Fecha	Estanque / Lote	Etapa productiva	Biomasa estimada (kg)	Cantidad de alimento suministrado (kg)	Nº raciones por día	Tipo de alimento (marca / % proteína)	Método de suministro	Observaciones (consumo, sobras, eventos)	Firma responsable

**Instrucciones de diligenciamiento (parte inferior del formato)**

- Registrar al final de cada jornada de suministro de alimento.
- Utilizar valores estimados o provenientes de biometrías.
- Marcar tipo de alimento:  Purina  Italcol  Otros: \_\_\_\_\_
- Método de suministro:  Manual  Automático  Mixto
- Reportar sobresuministro, presencia de peces sin consumo o mortalidades asociadas.
- Conservar registros mínimo 24 meses, conforme a AUNAP (2019) y NTC 5700.

**Advertencia**

Este registro forma parte del sistema documental de **Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA)**. Su ausencia o diligenciamiento incompleto puede afectar procesos de:

- ✓ Certificación BPPA
- ✓ Bioseguridad
- ✓ Control de costos
- ✓ Trazabilidad de producto

**BPPA-REG-03. Registro de Biometría / Mortalidad / FCR**

Unidad de Producción Acuícola: \_\_\_\_\_

Responsable del Registro: \_\_\_\_\_

Especie / Lote: \_\_\_\_\_

Fecha	Estanque / Lote	Nº peces (inicio)	Nº peces actuales	Mortalidad del periodo	Peso promedio (g)	Biomasa total (kg)	Crecimiento (g/día)	Cantidad alimento suministrado (kg)	FCR del período	Observaciones	Firma responsable

Biomasa total (kg) = Nº peces × Peso promedio (g) / 1000

Crecimiento (g/día) = (Peso final – Peso inicial) / Días del período

FCR = Alimento suministrado (kg) / Incremento de biomasa (kg)

(Menor FCR → mayor eficiencia y menor impacto ambiental)

**Instrucciones de diligenciamiento**

- ✓ La biometría debe realizarse cada 2 a 4 semanas (ICA, 2023).
- ✓ No mezclar lotes durante los períodos de evaluación.
- ✓ Registrar mortalidades diarias con causa cuando sea posible.
- ✓ Validar exactitud del pesaje de peces y alimento.
- ✓ Archivar registros como evidencia obligatoria para certificación BPPA.

Importancia del registro

El seguimiento periódico permite:

- Optimizar densidad y alimentación
- Reducir costos por mal desempeño productivo
- Anticipar riesgos sanitarios
- Mantener trazabilidad productiva verificable

**BPPA-REG-04. Registro de Calidad del Agua y Condiciones Ambientales**

Versión: 1.0 Fecha: // \_\_\_\_\_

Área responsable: Técnico acuícola

Frecuencia: 2–3 veces por semana

**Objetivo**

Controlar los parámetros fisicoquímicos del agua para asegurar bienestar animal y productividad, conforme a lineamientos nacionales e internacionales (FAO, 2020; MADR, 2020; ICA, 2023).

**Formato de Registro**

Fecha	Estanque/Lote	Temp. (°C)	OD (mg/L)	pH	NH <sub>3</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Turbidez	Observaciones	Firma Responsable

**Alertas rápidas (criterios FAO–AUNAP)**

OD < 5 mg/L → Activar aireación

pH < 6.5 o > 8.5 → Renovar agua

NH<sub>3</sub> ≥ 0.05 mg/L → Reducir alimento + recambio

**Verificación interna**

Técnico Sanitario: \_\_\_\_\_ Fecha: / \_\_\_\_\_

**BPPA-REG-05. Registro de Manejo de Residuos y Efluentes**

Versión: 1.0 Fecha: // \_\_\_\_\_

Área responsable: Encargado ambiental

Frecuencia: Semanal

**Objetivo**

Registrar la recolección, segregación y disposición segura de residuos para minimizar riesgo sanitario y contaminación (MinAmbiente, 2015; FAO, 2021).

**Formato**

Fecha	Tipo de residuo (orgánico / sanitario / plástico)	Cantidad	Sitio de almacenamiento	Disposición / Aprovechamiento	Registro fotográfico	Firma Responsable

**Advertencia:**

La ausencia de registros puede afectar certificación e inocuidad del producto.











## **Anexo 5. Plan de Mejora Integral para Unidades Piscícolas**

### **5.1 Introducción**

Con base en las brechas identificadas en bioseguridad, trazabilidad, control metroológico del agua, manejo de efluentes y bienestar animal, se diseñó un Plan de Mejora Integral para las unidades piscícolas evaluadas en Villavicencio, Restrepo, Cumaral y Castilla la Nueva. Este plan prioriza acciones escalonadas, define responsables, establece metas verificables y propone un cronograma de implementación, asegurando una adopción progresiva de Buenas Prácticas de Producción Acuícola (BPPA) (FAO, 2020; AUNAP, 2019; ICONTEC, 2020).

### **5.2 Objetivos del Plan de Mejora**

Reducir riesgos sanitarios mediante la estandarización de protocolos de bioseguridad (Bondad-Reantaso et al., 2014; AUNAP, 2019).

Fortalecer la trazabilidad y control documental mediante registros estandarizados y sistematizados (Codex Alimentarius, 2020; ICONTEC, 2020).

Optimizar el monitoreo de parámetros fisicoquímicos del agua mediante calibración de equipos y registro de series históricas (ICA, 2023; FAO, 2011).

Implementar sistemas adecuados de tratamiento de efluentes y manejo de lodos adaptados a la escala productiva (MinAmbiente, 2018; Rojas et al., 2021).

Mejorar la eficiencia alimentaria mediante cálculo de FCR y biometría periódica (FAO, 2020; Tacon & Metian, 2015; Boyd et al., 2022).

### **5.3 Componentes y Acciones Prioritarias**

<b>Componente</b>	<b>Acción de Mejora</b>	<b>Responsable</b>	<b>Meta Verificable</b>	<b>Plazo</b>
<b>Bioseguridad</b>	Implementar pediluvios, control de ingreso y cuarentena de lotes	Producción y Supervisor Técnico	Protocolos escritos y firmados por responsable	Inmediato (1 mes)
<b>Trazabilidad y registros</b>	Estandarizar formatos de siembra, alimentación, mortalidad y tratamientos	Producción y Administrador de Datos	Todos los registros llenados correctamente en 100% de los lotes	Corto plazo (2 meses)
<b>Control del agua</b>	Calibración de equipos, registro sistemático de parámetros y series históricas	Encargado de Laboratorio	Series de datos completas y verificables para todos los estanques	Corto-mediano plazo (2-3 meses)
<b>Manejo de efluentes</b>	Construcción y/o adecuación de lagunas de sedimentación, compostaje controlado de lodos	Ingeniero Ambiental	Sistemas operativos y reportes de tratamiento revisados	Mediano plazo (3-6 meses)
<b>Alimentación y nutrición</b>	Capacitación en cálculo de FCR, biometría y ajuste de raciones	Nutricionista y Producción	Registros de FCR y biomasa en todos los lotes	Corto plazo (2 meses)
<b>Bienestar animal</b>	Implementación de monitoreo de signos clínicos y densidad de siembra	Producción	Bitácoras completas de observaciones diarias	Corto plazo (2 meses)

#### 5.4 Cronograma de Implementación

El plan se desarrollará de forma escalonada, comenzando por las acciones de bioseguridad y trazabilidad, seguidas de control metrológico del agua, manejo de efluentes, alimentación y bienestar animal. La implementación progresiva permite priorizar recursos y generar evidencia de cumplimiento para auditorías internas y certificaciones externas (AUNAP & FAO, 2024; FAO, 2020).

#### 5.5 Indicadores de Verificación

Porcentaje de unidades con protocolos escritos y operativos de bioseguridad.

Porcentaje de registros completos y estandarizados por lote.

Número de equipos calibrados y registros históricos de parámetros de agua.

Eficiencia alimentaria medida mediante FCR ajustado por biomasa.

Cumplimiento en observación de signos clínicos y densidad de siembra.

Funcionamiento efectivo de sistemas de tratamiento de efluentes.

### **5.6 Justificación Técnica**

La priorización de acciones se fundamenta en la magnitud de las brechas detectadas y el riesgo asociado a la inocuidad, salud pública y sostenibilidad ambiental. La evidencia del diagnóstico respalda la necesidad de un enfoque integral que combine medidas operativas inmediatas con estrategias de mediano plazo, adaptadas a la realidad de la región de la Orinoquia y a la escala semi-intensiva de las unidades piscícolas evaluadas (FAO, 2020; AUNAP, 2019; Saltarén & Rivera, 2022; Bondad-Reantaso et al., 2014).

## Anexo 6. Listas de chequeo por componente

### Trazabilidad

Ítem	Criterio de evaluación	Cumple	Parcial	No cumple
T1	Registra el origen, especie y proveedor certificado de los alevinos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
T2	Mantiene bitácoras actualizadas de alimentación, tratamientos y cosechas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
T3	Implementa códigos QR o etiquetas para el seguimiento por lote.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
T4	Archiva registros de mortalidad, conversión alimenticia y rendimiento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

La trazabilidad es un requisito esencial para garantizar la inocuidad alimentaria y la transparencia del proceso productivo (FAO, 2021; AUNAP, 2020; Charlebois et al., 2024).

### Calidad del agua

Ítem	Criterio de evaluación	Cumple	Parcial	No cumple
A1	Mide parámetros físico-químicos (pH, oxígeno, temperatura) diariamente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A2	Registra nutrientes críticos como amonio, nitrito y nitrato semanalmente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A3	Aplica medidas correctivas cuando los valores superan límites técnicos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A4	Posee plan documentado de manejo de vertimientos y recambios.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A5	Verifica calidad del agua de ingreso y efluente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

La estabilidad de los parámetros físico-químicos es determinante para la salud y productividad de los peces (Boyd & Tucker, 1998; FAO, 2022).

### Alimentación

Ítem	Criterio de evaluación	Cumple	Parcial	No cumple
F1	Utiliza concentrados balanceados registrados ante el ICA.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2	Ajusta raciones según biomasa y temperatura.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F3	Controla conversión alimenticia (CAA) por ciclo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F4	Registra la procedencia de insumos y controla fechas de caducidad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

El control del alimento contribuye al uso eficiente de recursos y reduce el impacto ambiental (Tacon & Metian, 2015; FAO, 2020).

### Manejo de residuos

Ítem	Criterio de evaluación	Cumple	Parcial	No cumple
R1	Clasifica residuos sólidos, orgánicos y peligrosos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R2	Dispone de áreas señalizadas para almacenamiento temporal.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R3	Reutiliza residuos orgánicos como abono o compost.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
R4	Tiene evidencia documental del destino final de los residuos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

El manejo responsable de residuos promueve la sostenibilidad ambiental y la economía circular (Ochoa & Céspedes, 2022; FAO, 2021).

### Bienestar animal

Ítem	Criterio de evaluación	Cumple	Parcial	No cumple
B1	Mantiene densidades adecuadas por especie (Tilapia: 30–40 ind./m <sup>2</sup> ; Cachama: 15–25 ind./m <sup>2</sup> ; Bocachico: 10–20 ind./m <sup>2</sup> ).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B2	Observa signos de estrés y registra anomalías conductuales.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B3	Aplica técnicas de captura y sacrificio humanitario.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B4	Capacita al personal en manejo y transporte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B5	Posee protocolo de emergencia ante mortalidades masivas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

El bienestar animal mejora la calidad del producto y refleja la ética productiva de la piscicultura moderna (Ashley, 2007; Martos-Sitcha et al., 2020).

### Bioseguridad

Ítem	Criterio de evaluación	Cumple	Parcial	No cumple
BS1	Controla el ingreso de visitantes y vehículos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BS2	Desinfecta equipos y herramientas previo al uso.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BS3	Aplica cuarentenas preventivas para nuevos lotes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BS4	Registra incidencias sanitarias y tratamientos aplicados.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Un plan de bioseguridad adecuado previene brotes y mitiga riesgos epidemiológicos (AUNAP, 2020; FAO, 2022).