



METROLOGÍA PARA LA BIOSEGURIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE TILAPIA

Identificación de brechas metrológicas en el departamento del Huila



GMAP Colombia - Programa Global de Acceso a Mercados, proyecto país del Global Market Access Programme (GMAP), creado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI) y el gobierno de Noruega, e implementado en acuerdo con el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo e iNNpulsa Colombia, ha desarrollado este documento como contribución a la aplicación de buenas prácticas y a la mejora de la oferta de servicios metrológicos que sustentan la bioseguridad en la producción de tilapia en el departamento del Huila, la cual va desde la adquisición de alimento balanceado, levante, engorde y finaliza en la postcosecha. Este documento se ha preparado bajo el liderazgo conjunto de la ONUUDI, en el marco del proyecto GMAP Colombia, y el Instituto Nacional de Metrología. Sus conclusiones y aportes cuentan con la validación de unidades productivas, empresas, laboratorios, instituciones, gremios, expertos y partes interesadas.

Edición y redacción.

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI)

Juan Pablo Díaz Castillo

Gerente de Proyecto y Oficial de Desarrollo Industrial de la ONUUDI

Jessica Angulo De Castro

Coordinadora Técnica Nacional

Jaime Alberto Monguí Rojas

Coordinador Técnico Nacional

Norma Ayde Luna Barrera

Asistente Operacional de Calidad

Carlos Andrés España Sánchez

Experto en Materiales de Referencia

Instituto Nacional de Metrología de Colombia

María del Rosario González Márquez

Directora

Alexandra Hernández Moreno

Subdirectora de Servicios Metrológicos y Relación con el Ciudadano

Diego Alejandro Martínez Ríos

Contratista

María Mercedes Arias Cortés

Profesional Especializado

Diseño y diagramación.

Grafoscopio

ISBN: 978-628-97128-4-1

Para más información contacte a:

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial - ONUUDI, Colombia.

Calle 115 No. 5-50, Bogotá

Tel: +57 1 477 98 88



Este texto no ha sido editado

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene, no implican juicio alguno por parte de la Secretaría de la ONUDI sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto al trazado de sus fronteras o límites. Las calificaciones de “desarrollados”, “industrializados” y “en desarrollo” se utilizan únicamente para facilitar la presentación estadística y no entrañan necesariamente un juicio sobre la etapa a la que pueda haber llegado determinado país o zona en el proceso de desarrollo. La mención de empresas o productos comerciales no entraña respaldo alguno por parte de la ONUDI.



Contenido

Agradecimientos	6
Aspectos clave	7
Abreviaturas, siglas y símbolos	8
Términos y definiciones	10
1. Introducción	12
1.1. El aporte de la Infraestructura Nacional de la Calidad a la bioseguridad de la producción de tilapia en el departamento del Huila	13
2. Objetivo	14
3. Alcance	14
4. Contexto general de la cadena y de la unidad de análisis	16
4.1. Resultados de medición confiables como factor estratégico en la bioseguridad del cultivo de la tilapia	17
4.2. La ruta de identificación de brechas metrológicas en la bioseguridad debe priorizar servicios metrológicos	18
5. Necesidades metrológicas	19
5.1. Adquisición de insumos y alimento balanceado	20
5.2. Producción de semilla	21
5.3. Engorde	23
5.4. Postcosecha	25
5.5. Otras mediciones relevantes para la bioseguridad	27
6. Capacidades metrológicas	29
6.1. Atributos de los servicios de medición en la región para la gestión de la bioseguridad	30
7. Problemas Evidenciados	33
8. Identificación de brechas metrológicas y plan de trabajo	36
9. Conclusiones	43
10. Referencias bibliográficas	44



Tablas

Tabla 1. Necesidades metrológicas en la etapa de adquisición de insumos y alimento balanceado	20
Tabla 2. Necesidades metrológicas en la etapa de producción de semilla	21
Tabla 3. Necesidades metrológicas en la etapa de engorde	24
Tabla 4. Necesidades metrológicas en la etapa de postcosecha	26
Tabla 5. Necesidades metrológicas para el análisis de residuos en producto terminado	27
Tabla 6. Descripción del plan de trabajo resultante del estudio de brechas de bioseguridad	39

Figuras

Figura 1. Características de la metodología de brechas metrológicas aplicada a la bioseguridad en la producción de tilapia	18
Figura 2. Atributos de la oferta de servicios de medición disponibles en la región de estudio	30
Figura 3. Listado de problemas identificados	34
Figura 4. Relación de impactos en la bioseguridad del estudio de brechas metrológicas de bioseguridad	42



Agradecimientos

La ONUDI y el INM agradecen especialmente a los actores ubicados en el departamento del Huila y a los diferentes representantes institucionales que participaron en esta iniciativa por sus valiosos aportes y el apoyo en el proceso de recolección de información que alimentó este estudio de brechas metroológicas. Su compromiso, disposición y apertura para participar en las visitas técnicas, entrevistas semiestructuradas y demás actividades asociadas han sido fundamentales para la consolidación de esta actividad, enriqueciendo los planes de trabajo formulados y su pertinencia para el sector de la acuicultura.





Aspectos clave

La gestión efectiva de la bioseguridad en la producción de tilapia depende directamente de la disponibilidad y uso de mediciones confiables en variables críticas como calidad del agua, diagnóstico sanitario y control de residuos, las cuales soportan la toma de decisiones operativas y el cumplimiento de requisitos de mercado.

Se identificaron brechas significativas en trazabilidad metrológica, validación de métodos, acceso a servicios de ensayo y calibración, así como en la apropiación de herramientas metrológicas por parte de los productores, lo que limita la confiabilidad y oportunidad de los resultados de medición.

La oferta de servicios metrológicos en la región presenta desarticulación frente a las necesidades del sector, especialmente en términos de cobertura, tiempos de respuesta y alcance técnico, lo que reduce su efectividad como soporte a la gestión de la bioseguridad.

Las mediciones microbiológicas y moleculares representan un punto crítico, evidenciando la necesidad de fortalecer capacidades en investigación aplicada, desarrollo de métodos, disponibilidad de materiales de referencia y participación en ensayos de aptitud.

El fortalecimiento de actores estratégicos en el territorio, como laboratorios de ensayo, proveedores de calibración, universidades y centros de investigación, es fundamental para consolidar nodos regionales que respondan de manera sostenible a las demandas metrológicas del sector.

La mejora en la bioseguridad no depende exclusivamente del cumplimiento normativo, sino de la integración efectiva entre metrología, normalización, evaluación de la conformidad y capacitación técnica como elementos clave del desempeño productivo.

La adopción de buenas prácticas de medición en campo, particularmente en el monitoreo de calidad del agua y el manejo postcosecha, representa una oportunidad inmediata para reducir riesgos sanitarios y pérdidas económicas.

La metodología de análisis de brechas metrológicas aplicada en este estudio es replicable en otras cadenas acuícolas y pecuarias con perfiles de riesgo similares, lo que permite escalar su impacto en otros productos agroindustriales.

El cierre de las brechas metrológicas identificadas requiere un enfoque articulado entre actores públicos, privados y académicos, orientado al desarrollo de servicios metrológicos pertinentes, accesibles y alineados con los requisitos de acceso a mercados.



Abreviaturas, siglas y símbolos

Sigla	Significado
AOAC	Association of official analytical collaboration international (sigla en inglés)
AUNAP	Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca
BAP	Best Aquaculture Practices (sigla en inglés)
BIM	Brecha de Innovación Metrológica
BM	Brecha Metrológica
BSM	Brecha de Servicios Metrológicos
CAC/RCP	Codex Alimentarius Commission / Recommended Code of Practice (siglas en inglés). Comisión del Codex Alimentarius / Código de Prácticas Recomendado
ELISA	Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (sigla en inglés). Ensayo inmunoenzimático
FEDEACUA	Federación Colombiana de Acuicultores
FSSC 22000	Food Safety System Certification 22000 (sigla en inglés). Esquema de certificación de sistemas de gestión de la inocuidad alimentaria
GF-AAS	Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (sigla en inglés). Espectrometría de absorción atómica con horno de grafito
HALAL	Sistema de certificación Halal para alimentos y procesos, conforme a la ley islámica
HPLC	High Performance Liquid Chromatography (sigla en inglés). Cromatografía líquida de alta eficiencia
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (sigla en inglés). Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (sigla en inglés). Espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente



Sigla	Significado
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
INM	Instituto Nacional de Metrología de Colombia
IPRS	In-Pond Raceway System (sigla en inglés). Sistema de movimiento continuo dentro de estanque
LC-MS	Liquid Chromatography–Mass Spectrometry (sigla en inglés). Cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas
LC-MS-MS	Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry (sigla en inglés). Cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas en tándem
MRC	Material de Referencia Certificado
NTC	Norma Técnica Colombiana
ONAC	Organismo Nacional de Acreditación de Colombia
ONUUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
pH	Potencial de Hidrógeno
qPCR	Quantitative Polymerase Chain Reaction (sigla en inglés). Reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real
SM	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (sigla en inglés). Métodos normalizados para el examen de agua y aguas residuales
TiLV	Tilapia Lake Virus (sigla en inglés). Virus de la tilapia del lago
UV-Vis	Ultraviolet–Visible Spectrophotometry (sigla en inglés). Espectrofotometría ultravioleta-visible



Términos y definiciones

Las siguientes definiciones se presentan con el fin de precisar los conceptos clave asociados al alcance y los objetivos del estudio:

Bioseguridad: conjunto de prácticas orientadas a prevenir la introducción, establecimiento y diseminación de agentes infecciosos dentro y fuera de una unidad productiva (Yanong & Erlacher-Reid, 2012).

Sanidad animal: aplicación del conocimiento sobre enfermedades infecciosas y parasitarias en sistemas productivos, orientada a su diagnóstico, prevención y control, considerando signos clínicos, lesiones y respuesta del hospedador (Durán, 2008).

Bienestar animal: estado físico y comportamental que permite al animal adaptarse a su entorno, evitando sufrimiento y manteniendo funciones fisiológicas adecuadas (Durán, 2008).

Cultivo de Tilapia: sistema de producción acuícola destinado a la cría, crecimiento y cosecha de tilapia roja (*Oreochromis Sp*) y tilapia negra (*Oreochromis Niloticus*), en condiciones controladas o semicontroladas con fines comerciales (Sanabria, 2012).

Alimento balanceado: mezcla formulada de ingredientes que aporta los nutrientes esenciales para el crecimiento, mantenimiento y reproducción de la tilapia, de acuerdo con su etapa productiva (Soto et al., n.d.).

Insumos para la producción de tilapia: conjunto de materiales, productos biológicos, químicos y equipos utilizados en el ciclo productivo, cuya calidad y uso inciden directamente en la bioseguridad del cultivo (Soto et al., n.d.).

Calidad del agua: conjunto de características físicas, químicas y biológicas que influyen en la supervivencia, crecimiento y productividad de la tilapia, incluyendo parámetros como oxígeno disuelto, pH, temperatura y nutrientes (Boyd & Tucker, 1998).

Sistemas de producción de tilapia: modalidades técnicas de cultivo tales como estanques, sistemas de recirculación y jaulas en cuerpos de agua, los cuales difieren en densidad, flujo de agua y nivel de control ambiental y sanitario (Rodríguez-Hernández et al., 2025).

Sistema de acuicultura de recirculación: tecnología que permite el cultivo con reutilización continua del agua mediante procesos de filtración, tratamiento y oxigenación (Rodríguez-Hernández et al., 2025).

Sistemas de movimiento continuo en estanques: sistemas con renovación permanente de agua que facilitan el control de la calidad, como el sistema In-Pond Raceway (IPRS), que combina canales de cultivo con zonas de tratamiento (Fantini-Hoag et al., 2022).

Unidades de producción de jaulas en cuerpos de agua compartidos: sistemas intensivos en estructuras flotantes ubicadas en cuerpos de agua, que permiten altas densidades de cultivo con renovación natural del agua (Masser & Bridger, 2008).

Diagnóstico veterinario: conjunto de procedimientos clínicos, microbiológicos y moleculares usados para determinar el estado sanitario de los animales y orientar acciones de control (Pulido, 2012).



Laboratorios de referencia: laboratorios con alta capacidad técnica que establecen métodos de referencia, garantizan la trazabilidad metrológica y coordinan redes de medición o diagnóstico (Tumilovich, 2024).

Laboratorios de tercera parte: laboratorios independientes que prestan servicios de ensayo o calibración bajo criterios de imparcialidad y competencia técnica, generalmente acreditados bajo ISO/IEC 17025 (Tumilovich, 2024).

Laboratorios secundarios: laboratorios de apoyo operativo con capacidades limitadas, que dependen de laboratorios de mayor nivel para asegurar la trazabilidad y la validez de sus resultados (Tumilovich, 2024).

Metrología: ciencia de las mediciones y sus aplicaciones, orientada a asegurar resultados confiables, trazables y comparables (Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos Fundamentales y Generales, y Términos Asociados, 2012).

Aseguramiento de la validez de los resultados: proceso que garantiza que los resultados de medición son adecuados para su uso, mediante control de incertidumbre, verificación y control de calidad (Jiménez, 2007).

Herramientas metrológicas: conjunto de recursos técnicos y documentales incluyendo instrumentos, materiales de referencia, métodos y registros, utilizados para asegurar la calidad de las mediciones (Grasso Toro & Lehmann, 2021).

Métodos de medición: procedimientos documentados que establecen cómo realizar una medición,

incluyendo condiciones, equipos, criterios de aceptación y controles de calidad (Tumilovich, 2024).

Materiales de referencia: materiales con propiedades caracterizadas utilizados para calibración, validación y control de calidad de mediciones (Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos Fundamentales y Generales, y Términos Asociados, 2012).

Ensayos de aptitud: comparaciones interlaboratorio diseñadas para evaluar el desempeño y la competencia técnica de los participantes (Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos Fundamentales y Generales, y Términos Asociados, 2012).

Trazabilidad metrológica: propiedad de un resultado que permite relacionarlo con una referencia mediante una cadena documentada de calibraciones (Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos Fundamentales y Generales, y Términos Asociados, 2012).

Brecha metrológica: diferencia entre las capacidades de medición requeridas y las disponibles en un entorno productivo, que afecta la confiabilidad y validez de los resultados.

Problema: situación que limita el desempeño de las mediciones o del aseguramiento metrológico y afecta la toma de decisiones en la gestión de la bioseguridad.

Eutrofización: proceso de enriquecimiento de nutrientes en sistemas acuáticos que provoca proliferación de algas y deterioro de la calidad del agua (Akinnowo, 2023).



01

Introducción



1.1. El aporte de la Infraestructura Nacional de la Calidad a la bioseguridad de la producción de tilapia en el departamento del Huila

La producción de tilapia constituye un pilar estratégico para el desarrollo económico del departamento del Huila y para el fortalecimiento de la acuicultura en Colombia (ONUDI, 2021). No obstante, su sostenibilidad y adaptación a las dinámicas del mercado dependen en gran medida de la capacidad para gestionar de manera efectiva la bioseguridad a lo largo del ciclo productivo primario (MacKinnon et al., 2023). En este contexto, la disponibilidad de resultados de medición confiables es un factor crítico para respaldar la toma de decisiones técnicas y sanitarias en los sistemas de producción.

El presente documento expone los resultados de la aplicación de la metodología de identificación de brechas metrológicas del INM a la gestión de la bioseguridad en la producción de tilapia en el departamento del Huila. Este ejercicio se orienta a articular los servicios y capacidades de la Infraestructura Nacional de la Calidad, particularmente en metrología, con las necesidades del sector productivo. A partir de un proceso estructurado que incluyó recopilación de información, visitas técnicas, entrevistas con actores clave y validación sectorial, se identificaron, por un lado, los requisitos normativos y técnicos asociados a la confiabilidad de las mediciones en los eslabones de adquisición de insumos y alimento balanceado, producción de semilla, engorde y post-cosecha; y por otro, se conocieron y documentaron las prácticas actualmente implementadas. El contraste entre estos elementos permitió identificar las brechas metrológicas en cada eslabón.

Como resultado, se formuló un plan de trabajo con acciones propuestas por el INM y otros actores relevantes, orientado al cierre de las brechas identificadas, con lo cual se busca impulsar el desarrollo de servicios metrológicos especializados que respondan a las necesidades de la bioseguridad en la producción de tilapia, mediante el fortalecimiento de la confiabilidad y comparabilidad de los resultados de medición, en coherencia con los principios de calidad, sostenibilidad y cumplimiento de regulación nacionales e internacional.





2. Objetivo

Identificar las principales brechas metrológicas que afectan la gestión de la bioseguridad en la producción de tilapia en el departamento del Huila, con el fin de formular un plan de trabajo orientado a fortalecer las capacidades de medición, calibración, validación y aseguramiento de la validez de los resultados en los sistemas productivos, y a articular los servicios metrológicos con las necesidades del sector.



3. Alcance

Comprende el análisis de la fase de producción primaria de tilapia en el departamento del Huila, abordada como una cadena de valor compuesta por cuatro eslabones interrelacionados: adquisición de insumos y alimento balanceado, producción de semilla, engorde y postcosecha (MacKinnon et al., 2023). Cada eslabón se evaluó usando como criterio la capacidad de aseguramiento de la validez de los resultados de medición usados para la gestión

de la bioseguridad. Para ello, se incluyeron las mediciones críticas, los métodos utilizados, los instrumentos empleados y los servicios requeridos, así como las oportunidades de mejora para fortalecer los procesos existentes.

A continuación, se resumen las principales actividades de la cadena de valor susceptibles de la aplicación de herramientas de aseguramiento metrológico.





01 Adquisición de insumos y alimento balanceado



Recepción, almacenamiento y manejo del alimento balanceado, asegurando condiciones adecuadas de humedad, temperatura y rotación (Yakupitiyage, 2013).



Control de calidad de materias primas e insumos (agua, alimentos, probióticos, desinfectantes), mediante inspección visual y análisis fisicoquímicos y microbiológicos, cuando aplique.



Preparación, dosificación y verificación de probióticos, aditivos, vitaminas, minerales y tratamientos de agua, asegurando la medición adecuada de concentraciones y tiempos de aplicación.



Control y trazabilidad de proveedores, incluyendo la verificación de requisitos sanitarios y normativos para prevenir la introducción de agentes infecciosos (FAO, 2023).

02 Producción de semilla (Mohamed Din & Subasinghe, 2017)



Monitoreo continuo de parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, pH, oxígeno, dureza, amonio, nitratos) durante la incubación, crecimiento inicial y reversión sexual.



Seguimiento al crecimiento y supervivencia de larvas y alevinos



Control de condiciones ambientales (temperatura, calidad del agua, densidad de cultivo) para prevenir estrés y enfermedades en los animales.



Aplicación de protocolos de bioseguridad, incluyendo manejo de reproductores, control del agua y limpieza de sistemas.



Diagnóstico temprano para la detección de agentes infecciosos prioritarios como TILV, Streptococcus agalactiae, Edwardsiella Francisella, Flavobacterium y Aeromonas (Paredes-Trujillo & Mendoza-Carranza, 2022).

03 Engorde (MacKinnon et al., 2023)



Monitoreo de la calidad del agua (oxígeno disuelto, temperatura, cloruros, sólidos totales, amonio, turbidez), considerando su variabilidad temporal.



Evaluación del impacto de condiciones ambientales (floraciones algales, precipitaciones, corrientes) sobre el bienestar animal y el crecimiento.



Aplicación de protocolos sanitarios, incluyendo vacunación, tratamientos preventivos y manejo de mortalidades.



Evaluación del crecimiento (peso y talla) mediante muestreos representativos.



Control de densidad de cultivo y alimentación, ajustando raciones según la biomasa real.



Implementación de medidas de bioseguridad para el control de ingreso de personal, equipos y embarcaciones.

04 Postcosecha



Control de temperatura y oxigenación durante el transporte, asegurando condiciones compatibles con la fisiología del pescado (ONU, 2025).



Monitoreo de la cadena de frío mediante la verificación de temperaturas con instrumentos calibrados.



Higienización de equipos y contenedores para prevenir la diseminación de agentes infecciosos.

Este enfoque permitió caracterizar las necesidades del sector según su nivel de tecnificación y tipo de sistema productivo, y establecer los elementos clave para orientar el desarrollo de servicios metroológicos que respalden la sostenibilidad y competitividad del sector. Las necesidades y capacidades metroológicas asociadas se presentan en los numerales 5 y 6 del presente documento.



04

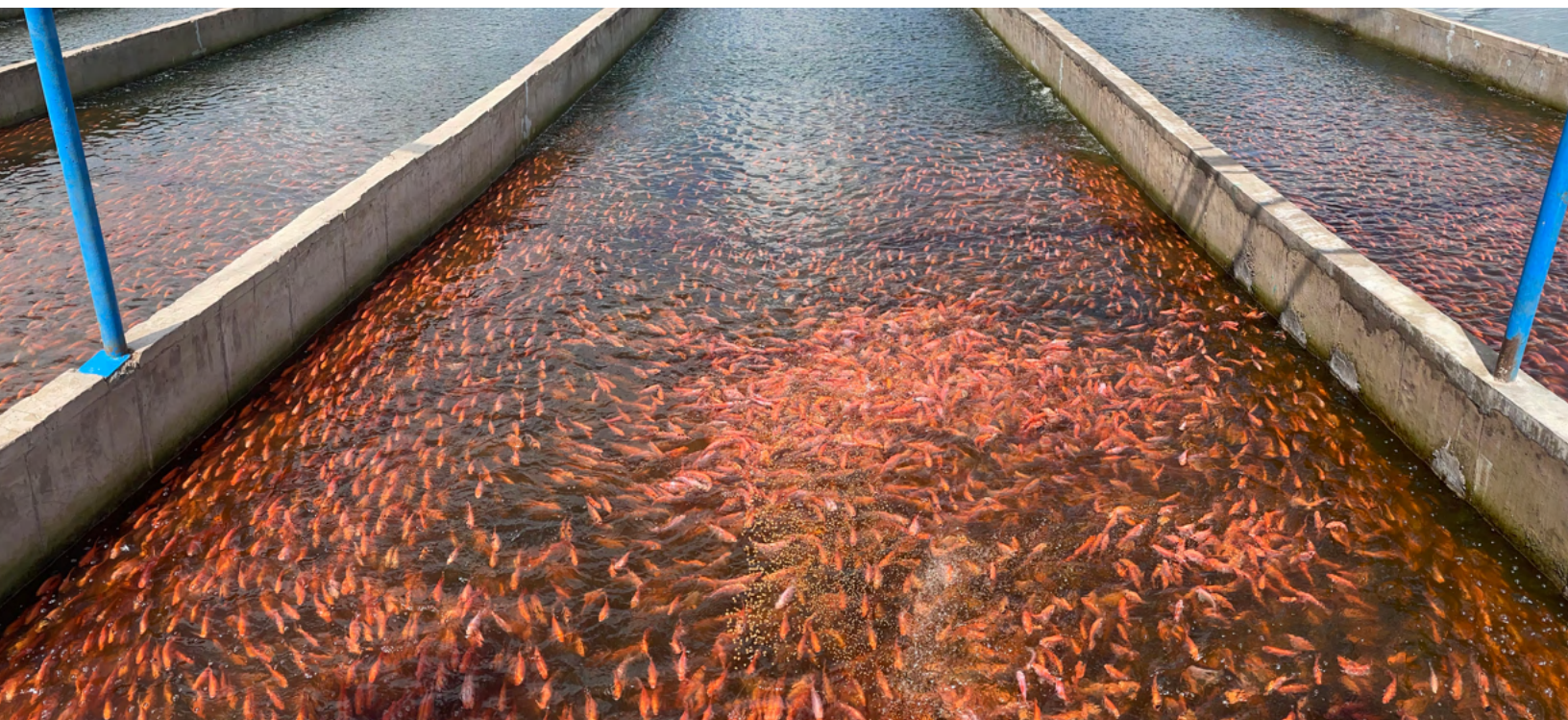
Contexto general
de la cadena y de
la unidad de análisis



4.1. Resultados de medición confiables como factor estratégico en la bioseguridad del cultivo de la tilapia

La producción de tilapia es una de las actividades más dinámicas y con mayor proyección dentro del sector de la pesca y la acuicultura en Colombia. Durante el primer trimestre de 2025, este sector contribuyó al crecimiento del 7,1 % del Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2025). En el ámbito internacional, las exportaciones de tilapia se concentran principalmente en los Estados Unidos, que representan cerca del 94 % del total, con ingresos de 193,2 millones de USD en 2023 (Dirección de asuntos económicos, 2023). Este desempeño se sustenta en atributos como la calidad y frescura del producto, así como en la adopción de estándares voluntarios que fortalecen el valor agregado y la confianza en los mercados (ONUDI, 2021). A nivel nacional, el consumo de pescados y mariscos ha mostrado un crecimiento sostenido. En 2024, el consumo per cápita se estimó entre 9,4 y 10,0 kg/hab/año, lo que representa un incremento del 28 % frente a 2018 y una contribución relevante al suministro de proteína animal de alto valor nutricional (Barbara Andreina Orozco, 2025).

De manera complementaria, el sector ha identificado oportunidades de expansión hacia mercados como la Unión Europea, el Reino Unido y el Medio Oriente, los cuales exigen el cumplimiento de requisitos estrictos en inocuidad y bioseguridad, bajo esquemas como FSSC 22000 y HALAL (Téllez Sánchez, 2019). En este contexto, la gestión de la bioseguridad a lo largo de la cadena de valor se posiciona como un factor estratégico de competitividad, al permitir la mitigación de riesgos sanitarios y el fortalecimiento de la confianza en la calidad e inocuidad de la producción. El aseguramiento de la validez de los resultados hace operativa esta gestión, al proporcionar datos confiables, comparables y técnicamente sustentados para la toma de decisiones operativas, sanitarias y comerciales. En este sentido, la disponibilidad de servicios metrológicos pertinentes y accesibles constituye una condición habilitante para una bioseguridad efectiva y para el posicionamiento competitivo de la producción de tilapia a nivel global.

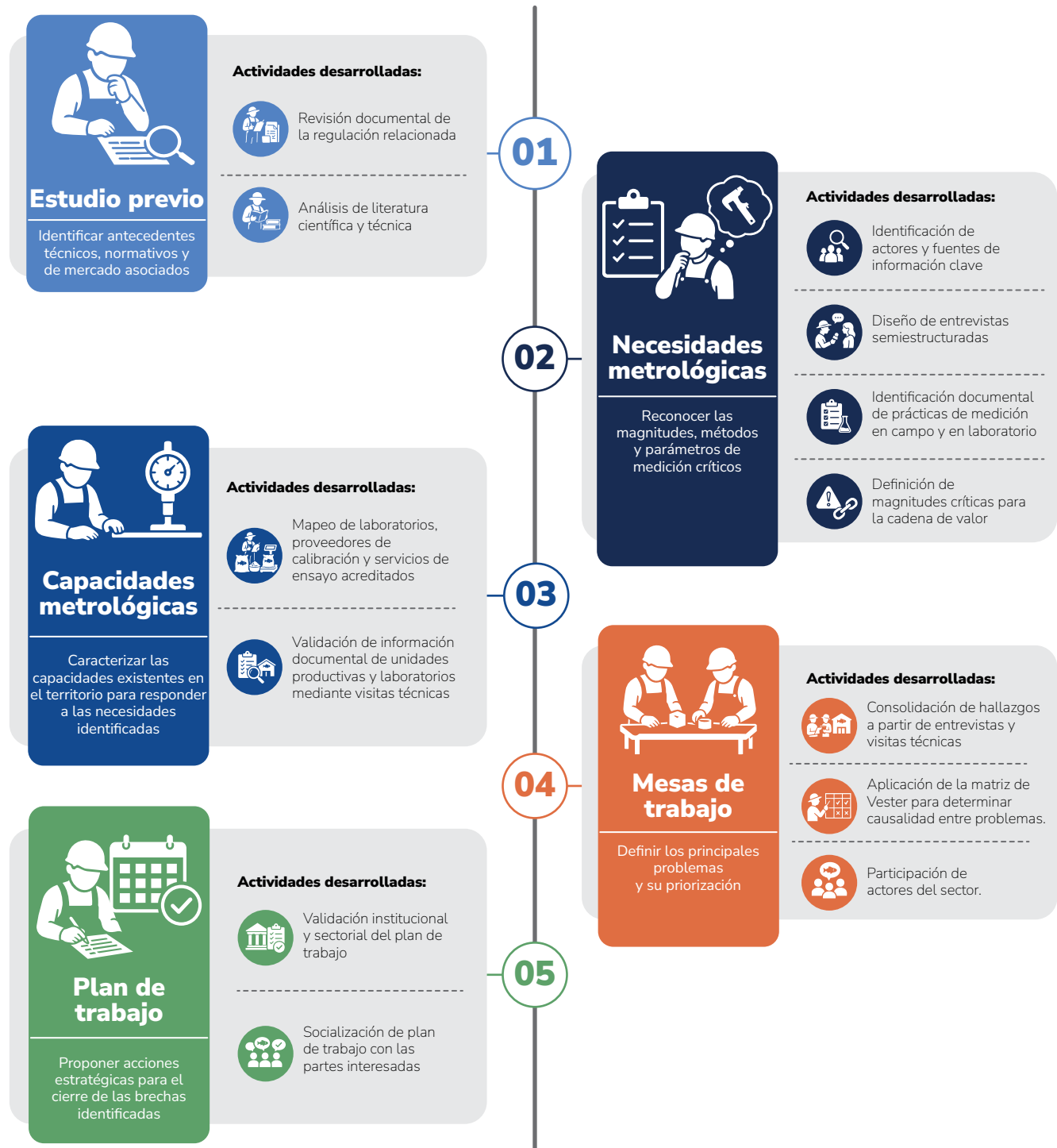


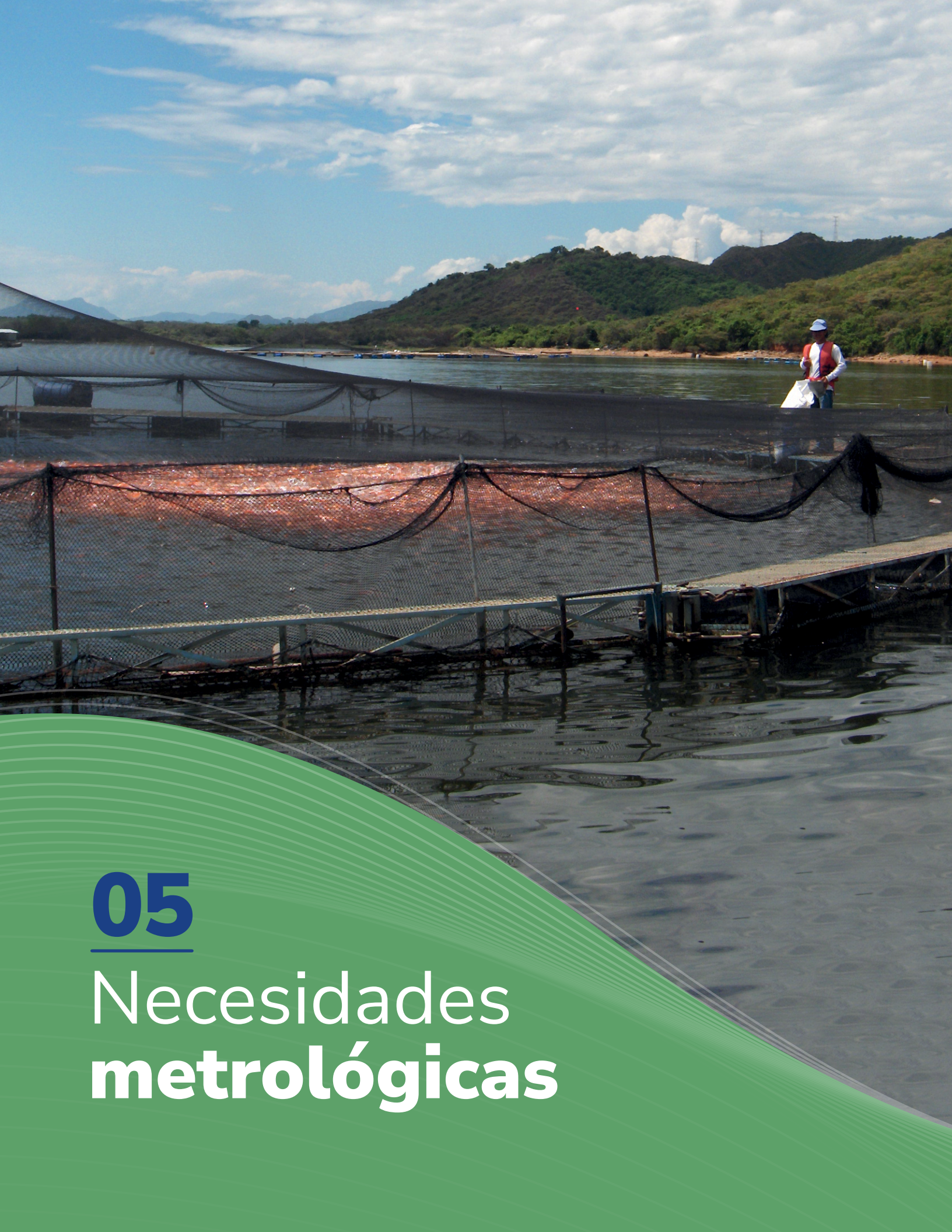


4.2. La ruta de identificación de brechas metrológicas en la bioseguridad debe priorizar servicios metrológicos

El estudio se desarrolló a través de las siguientes fases metodológicas, acorde con los lineamientos del INM:

Figura 1. Características de la metodología de brechas metrológicas aplicada a la bioseguridad en la producción de tilapia





05

Necesidades **metrológicas**



Las necesidades metroológicas establecen el marco para responder a preguntas clave en cada componente de la unidad de análisis:

- ¿Qué debe medirse?
- ¿Cómo debe medirse?
- ¿El método está normalizado?
- ¿A qué requisitos de mercado responde?

Estas categorías permiten relacionar cada medición con su contribución a la gestión de la bioseguridad, en términos de prevención de enfermedades, detección temprana de agentes patógenos, mitigación de factores de riesgo y mejora del desempeño produc-

tivo. A continuación, se presentan las necesidades metroológicas identificadas para cada eslabón de la cadena de valor.

5.1. Adquisición de insumos y alimento balanceado

En este eslabón, los productores deben asegurar que las materias primas cumplan los requisitos de inocuidad, con el fin de prevenir la introducción de peligros químicos, biológicos y sanitarios en las unidades productivas. Las mediciones asociadas a esta etapa se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Necesidades metroológicas en la etapa de adquisición de insumos y alimento balanceado

Necesidad metroológica	Magnitud por medir	Principio de medición	Método de medición	Requisito mercado	
				Nacional	Internacional
Calidad microbiológica	Recuento total de Aeróbicos mesófilos	Cultivo en medios selectivos	ISO 4832: 2006 Recuento de colonias	Resolución 122 de 2012 del ministerio de salud y protección social	Estándar alimento balanceado versión 3.3 (Best Aquaculture Practices, 2025) (Global seafood Alliance, 2024) Seafood Processing Standard-Core versión 6.0, Tabla 1.0
	Coliformes totales				
	Coliformes fecales				
	Salmonella spp		ISO 6579-1:2017: detección de salmonella		
Contaminantes orgánicos	Aflatoxinas totales	LC-MS	ISO 16050: 2003 Aflatoxinas en insumos alimenticios		
Contaminantes inorgánicos	Arsénico	ICP-MS, ICP-OES, HG-AAS	AOAC 999.10 heavy metals in foods		
	Cadmio	ICP-MS, ICP-OES, GF-AAS			
	Mercurio	ICP-MS, ICP-OES, CV-AAS			
	Plomo	ICP-MS, ICP-OES, GF-AAS			



Estas mediciones no son realizadas directamente por los productores, sino que hacen parte de la demostración de calidad mediante una certificación expedida por las casas comerciales y proveedores de insumos que soportan sus operaciones. La labor de los productores en esta etapa es consolidar esta información y demostrar la trazabilidad documental cuando corresponda.



5.2. Producción de semilla

Esta etapa del ciclo productivo es crítica para la bioseguridad, debido a la alta sensibilidad de los peces en etapas tempranas a variaciones en las condicio-

nes ambientales y a su mayor susceptibilidad frente a agentes patógenos. Las mediciones realizadas en esta fase permiten asegurar la calidad física, sanitaria y genética de la semilla, así como prevenir la introducción y diseminación de enfermedades hacia los sistemas de engorde (ver Tabla 2).

Tabla 2. Necesidades metrológicas en la etapa de producción de semilla

Necesidad metrológica	Magnitud por medir	Principio de medición	Método de medición	Requisito de mercado	
				Nacional	Internacional
Calidad del agua	Temperatura	Termometría digital y/o infrarroja	SM 2550 B	No aplica	(Best Aquaculture Practices, 2023a), hatchery Standard Appendix B
	Oxígeno disuelto	Titulación gravimétrica por yodometría	SM 4500-O OXÍGENO		
	pH	Potenciometría	SM 4500-H + pH		
	Alcalinidad	Titulación volumétrica	SM 2320 ALKALINITY		
	Dureza	Titulación complejométrica	SM 2340		



Necesidad metrológica	Magnitud por medir	Principio de medición	Método de medición	Requisito de mercado	
				Nacional	Internacional
Calidad del agua	Amonio total	Electrodo de ion selectivo	SM 4500-NH3 NITROGEN (AMMONIA)	No aplica	(Best Aquaculture Practices, 2023a), hatchery Standard Appendix B
	Fósforo total	Espectrofotometría VIS	SM 4500-P (A, B, C, D o E)		
	Nitratos-N	Espectrofotometría UV	4500-NO3 NITROGEN (NITRATE)		
	Turbidez	Disco Secchi	Disco Secchi		
	Sólidos suspendidos totales	Gravimetría	SM 2540 SOLIDS		
Seguimiento veterinario en peces	Streptococcus agalactiae	Exploratorio: cultivos en medios selectivos	ISO 22118:2011 Microbiology of food and animal feeding stuffs	(Subgerencia de protección animal, 2023) Instituto Colombiano Agropecuario	(Organización Mundial de Sanidad Animal, 2021)
	TiLV				
	Edwardsiella tarda	Confirmatorio: qPCR			
	Edwardsiella anguillarum				
	Aeromonas hydrophila				
Calidad microbiológica en agua	Coliformes totales	Filtración por membrana de vidrio	SM 9222 B 22 edición 2012	No aplica	(Global seafood Alliance, 2024) Seafood Processing Standard-Core versión 6.0, Tabla 1.0
	E. Coli		SM 9222G/9222H o 9222I edición 2012		
	Recuento total en placa	Recuento de placas heterotróficas	SM 9215B o 9215C edición 2012		

**i**

Este conjunto de mediciones contribuye a (Mohamed Din & Subasinghe, 2017):

- Controlar la tasa de mortalidad durante el crecimiento inicial de larvas, en función de variaciones en parámetros como temperatura, oxígeno disuelto y amonio.
- Prevenir brotes de enfermedad asociados a la presencia de patógenos bacterianos y virales.
- Garantizar que la semilla transferida al engorde presenta condiciones sanitarias adecuadas.

Parte de estas mediciones son realizadas directamente por los productores como componente del monitoreo operativo de los cultivos. En particular, el seguimiento de la calidad del agua es crítico para mantener niveles adecuados de supervivencia y favorecer el desarrollo fisiológico de larvas y alevinos. Se ha documentado que valores elevados de turbidez y sólidos suspendidos pueden inducir asfixia, mientras que concentraciones de amonio total superiores a 8 mg/L resultan altamente tóxicas (Paredes-Trujillo & Mendoza-Carranza, 2022). Estas condiciones pueden generar mortalidades súbitas, malformaciones o retrasos en el crecimiento, afectando directamente el rendimiento del cultivo. Por ello, el monitoreo continuo de estos parámetros es esencial para sustentar decisiones operativas relacionadas con el recambio, la recirculación y el tratamiento del agua, permitiendo la corrección oportuna de desviaciones (Boyd & Tucker, 1998).

Por su parte, los estándares voluntarios destacan la importancia de realizar mediciones confiables de las principales propiedades fisicoquímicas del agua en esta etapa del ciclo productivo. En particular, el



estándar BAP recomienda el uso de metodologías normalizadas para el análisis de agua y aguas residuales, como Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, con el fin de demostrar de manera objetiva la conformidad con los requisitos de bioseguridad exigidos para el acceso a mercados internacionales (Best Aquaculture Practices, 2023a).

5.3. Engorde

Comprende el periodo desde la siembra de alevinos hasta el alcance de la talla comercial. Es el eslabón más extenso del ciclo productivo y concentra una alta frecuencia de mediciones operativas que inciden directamente en la salud y el bienestar de los peces, la eficiencia alimenticia y la productividad del sistema. Desde la perspectiva de la bioseguridad, esta fase es estratégica, ya que la mayoría de los brotes de enfermedades en tilapia se asocian a deficiencias en el manejo del cultivo, a la calidad del agua y a la ausencia de mediciones confiables que permitan identificar oportunamente condiciones de riesgo (MacKinnon et al., 2023). Las mediciones requeridas en esta etapa se presentan en la Tabla 3.



Tabla 3. Necesidades metrológicas en la etapa de engorde

Necesidad metrológica	Magnitud por medir	Principio de medición	Método de medición	Requisito de mercado	
				Nacional	Internacional
Calidad del agua en estanques, sistemas de flujo continuo y sistemas de recirculación	pH	Ver tabla 2		Resolución 20186 de 2016 del ICA	(Best Aquaculture Practices, 2023a) farm standard appendix B (Aquaculture Stewardship Council, 2025) Estándar ASC para granjas apéndice 8 métodos de medición de calidad de agua
	Oxígeno disuelto				
	Amonio total				
	Nitratos-N				
	Sólidos suspendidos totales	Ver tabla 2	ISO 11923:1997		
	Nitrógeno total		ISO 11905-1:1997 ISO 29441:2010		
	Fósforo total		ISO 6878:2004 ISO 15681-2:2018		
	Fósforo soluble	Espectrofotometría VIS	SM 4500-P (A, B, C, D o E)		
	Demanda bioquímica de oxígeno	Titulación potenciométrica	5-Day BOD Test		
Cloruros	Titulación gravimétrica	SM 4500-CL-CHLORIDE			
Calidad de agua en Jaulas en cuerpos de agua abiertos NOTA: Deben realizarse a 50 cm de profundidad	Turbidez	Ver tabla 2			(Best Aquaculture Practices, 2023a) farm standard appendix D
	Oxígeno disuelto				
	Fósforo total y fosforo soluble				
	Clorofila A	Espectrofotometría UV-Vis	SM 10200 H		
	Abundancia y especies de fitoplancton	Microscopía óptica	SM 10200 PLANCTON		
Seguimiento veterinario en peces	Ver Tabla 2				(Best Aquaculture Practices, 2023a) farm standard pillar 4 animal health and welfare



Las mediciones de esta etapa contribuyen a (MacKinnon et al., 2023; Nathanailides et al., 2023):

- Detectar condiciones precursoras de brotes de enfermedad asociadas a variaciones en temperatura, oxígeno disuelto, amonio y nitratos, que puedan comprometer el sistema inmunológico de los peces.
- Identificar procesos de eutrofización que favorezcan la proliferación de algas y materia orgánica, con efectos sobre la disponibilidad de oxígeno y nutrientes en el sistema.
- Ajustar la alimentación para evitar la acumulación de materia orgánica y el deterioro de la calidad del agua.
- Definir densidades de siembra y programar periodos de cosecha.
- Evaluar el desempeño productivo y la eficiencia alimentaria.
- Activar medidas de mitigación y diagnóstico ante la ocurrencia de mortalidades inusuales.
- Prevenir pérdidas económicas asociadas a mortalidades masivas y reducción del crecimiento.

Dado que la etapa de engorde se desarrolla en distintos sistemas de producción, las mediciones relevantes varían según el contexto operativo. En sistemas en tierra, la calidad del agua está determinada por la carga orgánica, la eficiencia de la aireación, el manejo del alimento y la tasa de recambio (Paredes-Trujillo & Mendoza-Carranza, 2022). En sistemas de jaulas en cuerpos de agua abiertos, el monitoreo de la calidad del agua es crítico para la adaptación del cultivo a variaciones hidrológicas, climáticas y de uso del recurso. En este caso, adquiere especial relevancia el seguimiento de parámetros como fósforo total, clorofila a y fitoplancton, con el fin de evidenciar que la operación no contribuye a procesos de eutrofización ni al deterioro del ecosistema (Nathanailides et al., 2023). De manera complementaria, el diagnóstico veterinario constituye un componente esencial en esta fase. Las mediciones fisicoquímicas deben integrarse con la vigilancia sanitaria, incluyendo el seguimiento de mortalidad diaria, lesiones

externas, signos clínicos y la detección de parásitos, bacterias y agentes virales (MacKinnon et al., 2023). El monitoreo de estas condiciones es un requisito en el marco de las buenas prácticas de acuicultura, el control sanitario y el cumplimiento regulatorio para el acceso a mercados.

5.4. Postcosecha

Esta fase comprende el periodo desde la captura del pescado hasta su entrega en la planta de proceso. Las mediciones se enfocan en la gestión de la cadena de frío y en el bienestar del pez durante las operaciones de captura y transporte. Una preservación inadecuada en esta etapa favorece la proliferación microbiana, incrementa la mortalidad y deteriora características organolépticas como la textura y el color (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016). Las mediciones asociadas a esta fase se presentan en la Tabla 4.



Tabla 4. Necesidades metrológicas en la etapa de postcosecha

Necesidad metrológica	Magnitud por medir	Principio de medición	Método de medición	Requisito de mercado	
				Nacional	Internacional
Gestión de la cadena de frío	Temperatura	Termometría digital	ISO 18434-1:2008		NA
Bienestar animal durante la captura y el transporte	Oxígeno disuelto	Ver tabla 2		NTC 5822 de 2021	CAC/RCP 52-2003, Rev. 2020
	pH en agua			NTC 5443:2022	
	Conductividad en agua	Conductimetría	SM 2510 CONDUCTIVITY		



Estas mediciones contribuyen a (ONUDI, 2025):

- Proteger la integridad física y la inocuidad del pescado.
- Prevenir la proliferación microbiana y los riesgos sanitarios para el consumidor final.
- Mantener el bienestar del pez durante la captura y el transporte.
- Minimizar pérdidas económicas asociadas al deterioro del producto.

Se ha identificado que algunos productores no aplican criterios técnicos para preservar condiciones óptimas durante el transporte hacia la planta de proceso, lo que genera variabilidad en parámetros críticos como el tiempo de traslado, la temperatura, el manejo del hielo y la densidad de carga. Aunque existen referentes técnicos como la NTC 5822:2021

(Transporte de pescado en estado fresco-refrigerado) y la NTC 5443:2022 (Buenas prácticas en el manejo postcosecha de pescado fresco), que establecen lineamientos sobre cadena de frío, higiene, manipulación y bienestar animal, su carácter voluntario limita su adopción sistemática en el sector.



5.5. Otras mediciones relevantes para la bioseguridad

Existen mediciones adicionales que, aunque no se realizan como parte del control operativo rutinario, son fundamentales para demostrar el cumplimiento de requisitos sanitarios y fitosanitarios exigidos para el acceso a mercados. Estas incluyen el análisis de contaminantes inorgánicos (Ahmed et al., 2023), residuos de medicamentos veterinarios, toxinas naturales y otros contaminantes químicos presentes en el producto final (Hauser-Davis et al., 2015).

Tabla 5. Necesidades metroológicas para el análisis de residuos en producto terminado

Necesidad metroológica	Magnitud por medir	Principio de medición	Método de medición	Requisito de mercado	
				Nacional	Internacional
Contaminantes inorgánicos	Arsénico	Ver tabla 1	Ver tabla 1	Ver tabla 1	Ver tabla 1
	Cadmio				
	Mercurio				
	Plomo				
Residuos de cianotoxinas	Microcistinas	Análisis instrumental específico	ELISA	No aplica	Depende del mercado de destino
	Nodularinas		LC-MS-MS		
Contaminantes orgánicos	Aflatoxinas	Ver tabla 1			
Residuos veterinarios	Antibióticos	Separación cromatográfica y detección	LC-MS-MS	No aplica	Depende del mercado de destino
Residuos antiparasitarios	Antiparasitarios				
Residuos biológicos	Histamina	Cromatografía	HPLC	No aplica	(Global seafood Alliance, 2025), Annex 1-Seafood Processing Standard 6.0 Finished Product Testing Operational Guidance
		Colorimetría	UV-Vis		
		Ensayo enzimático	ELISA		
Residuos químicos	Nitrofuranos	Análisis instrumental específico	Exploratorio: ELISA cuantificación preliminar Confirmatorio: HPLC o LC-MS-MS	No aplica	(Global seafood Alliance, 2025), Annex 1-Seafood Processing Standard 6.0 Finished Product Testing Operational Guidance
	Flouroquinonas				
	Colorantes de trifenilmetano				
	Quinolonas				
	Sulfonamidas				
	Oxitetraciclinas				
	Tetraciclina				
Florfenicol					



i

Aunque este grupo de mediciones no forma parte del control operativo rutinario, constituye un complemento esencial de la estrategia de bioseguridad (Global seafood Alliance, 2025), en la medida en que permite:

- Verificar la inocuidad del producto terminado con destino a exportación.
- Identificar riesgos químicos y biológicos no detectables mediante el monitoreo operativo convencional.
- Respalda certificaciones y procesos de auditoría asociados al acceso a mercados.
- Prevenir rechazos de producto en mercados internacionales.

En conjunto, todas las mediciones identificadas a lo largo de los diferentes eslabones permiten caracterizar las condiciones sanitarias y operativas que determinan el desempeño productivo de los cultivos. Se evidencia que algunas de estas pueden realizarse internamente mediante instrumentación básica para el control operativo, mientras que otras requieren análisis especializados que deben ser

realizados por laboratorios con competencia técnica demostrada. Adicionalmente, los estándares voluntarios establecen frecuencias mínimas de muestreo y monitoreo que deben ser consideradas para el cumplimiento de requisitos de acceso a mercados. La integración de estas prácticas fortalece la capacidad del sector para prevenir riesgos y optimizar sus procesos productivos.





06

Capacidades **metrológicas**



La gestión de la bioseguridad no depende únicamente de la definición de las variables a medir, sino también de la capacidad para realizar dichas mediciones de manera confiable y oportuna. En este sentido, el análisis de capacidades metroológicas considera aspectos como la disponibilidad de laboratorios con servicios acreditados bajo ISO/IEC 17025 en la región, el acceso a servicios de calibración y el grado de articulación entre la oferta existente y las necesidades del sector para la gestión de la bioseguridad en la producción de tilapia.

6.1. Atributos de los servicios de medición en la región para la gestión de la bioseguridad

Con base en la información recopilada durante el estudio, se identificaron las principales características de la oferta de servicios de medición en la región, las cuales se presentan en la Figura 2.

Figura 2. Atributos de la oferta de servicios de medición disponibles en la región de estudio



NOTA: las mediciones de calidad de agua están acreditadas por IDEAM, mientras que la oferta de servicios de calibración para masa, temperatura y volumen, la concentran dos proveedores que cuentan con acreditación expedida por ONAC. Esta información se encuentra disponible en: <https://onac.org.co/directorio-de-acreditados/>.



Adquisición de insumos y alimento balanceado: No se identificaron servicios de medición asociados a otras materias primas utilizadas en los sistemas productivos. Se infiere que estas mediciones son gestionadas por los proveedores como parte de sus procesos internos de control de calidad.



Producción de semilla y engorde: Las capacidades de los laboratorios de ensayo disponibles se concentran principalmente en el monitoreo de la calidad del agua. En este contexto, los productores reportan dificultades para acceder a servicios de medición de fósforo soluble y fósforo total, dado que el límite máximo establecido por el estándar BAP para la fase de semilla ($10 \mu\text{g P-PO}_4/\text{L}$) se encuentra por debajo del alcance de los servicios acreditados bajo ISO/IEC 17025:2017 en los principales laboratorios de la región (Best Aquaculture Practices, 2023a).

Para el monitoreo operativo de variables como temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto, se emplean sensores multiparamétricos que permiten mediciones rápidas en campo. No obstante, estos equipos requieren procesos sistemáticos de verificación y calibración para asegurar la validez de los resultados. En la región, únicamente se identificó oferta de servicios de calibración para la magnitud de temperatura para este tipo de mediciones.



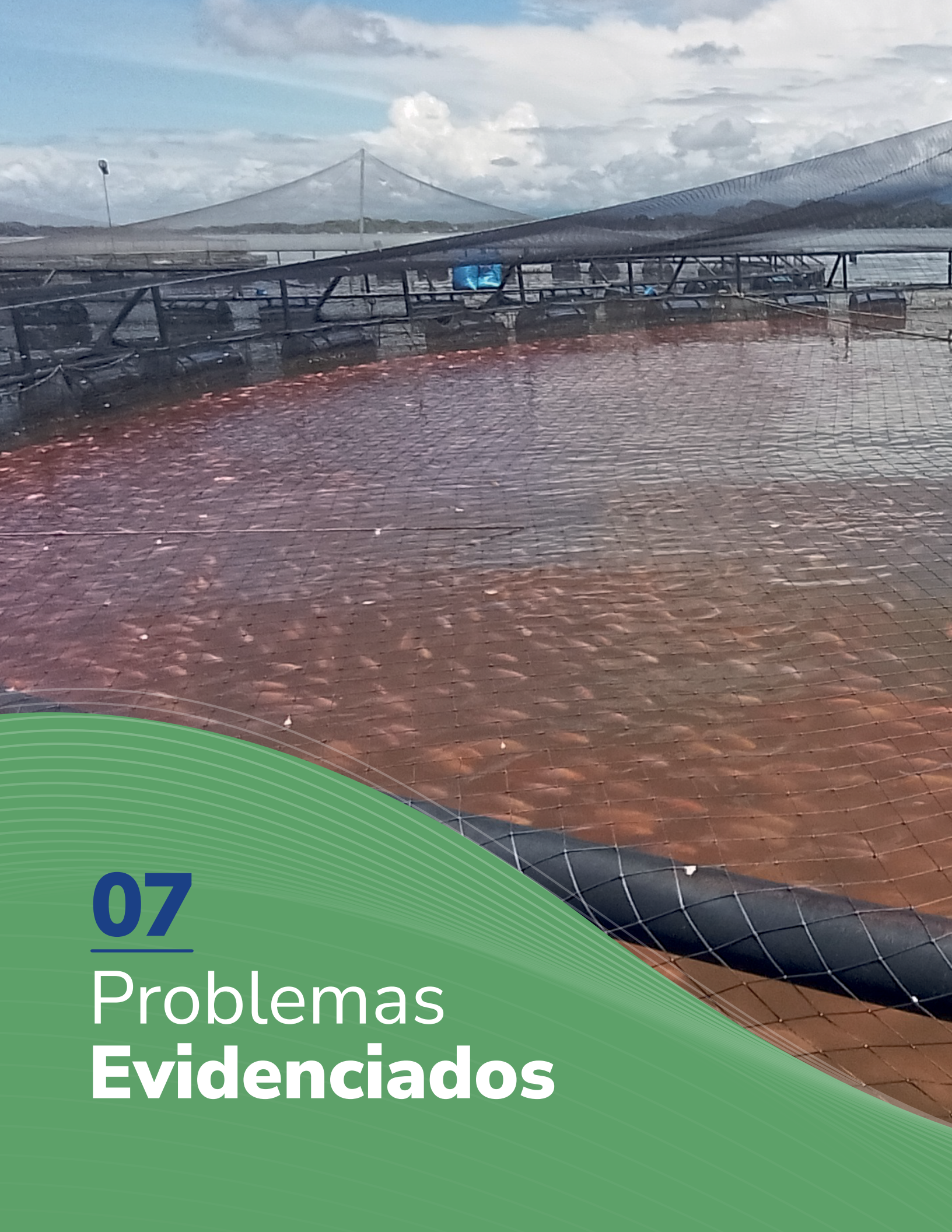
Engorde en sistemas de jaulas: Se identificaron desafíos en la medición de parámetros como clorofila a, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), turbidez y fósforo. En estos sistemas, la variabilidad ambiental y la influencia de actividades externas favorecen la obtención de resultados que exceden los límites establecidos por estándares voluntarios (Best Aquaculture Practices, 2023a). Adicionalmente, los tiempos de respuesta de los análisis limitan su utilidad para la toma de decisiones operativas, por lo que suelen emplearse de forma retrospectiva. Para la medición de amonio total, fósforo total y nitratos, se utilizan desde métodos colorimétricos semicuantitativos mediante kits comerciales hasta técnicas con electrodos de ion selectivo. Sin embargo, estos métodos presentan oportunidades de mejora en términos de validación, verificación y aseguramiento metrológico, con el fin de fortalecer la confiabilidad de los resultados.



Capacidades para el diagnóstico veterinario: Las capacidades basadas en métodos de biología molecular son atendidas por un laboratorio privado y un laboratorio nacional de referencia (Su et al., 2016). Aunque estos actores responden a las necesidades sanitarias del sector, se identifican oportunidades de mejora en el aseguramiento de la validez de los resultados, especialmente en el acceso a materiales de referencia, el uso de controles de calidad y la consolidación de la trazabilidad metrológica, aspectos clave para garantizar la comparabilidad entre ensayos. Estos laboratorios requieren servicios de calibración en la magnitud de volumen, particularmente para micropipetas empleadas en la preparación de reactivos y muestras. En la región, solo se identificó un laboratorio con capacidad para calibrar en el intervalo de 1 μL a 100 μL . Así mismo, se evidencian desafíos asociados a la infraestructura y gestión de equipos de ultracongelación utilizados para el almacenamiento de muestras biológicas y reactivos críticos.



Postcosecha: En la gestión de la cadena de frío, se identificó oferta regional de servicios de calibración para termómetros digitales en dos proveedores. No obstante, su uso por parte de los productores es limitado, lo que reduce su impacto en la calidad del producto. En este sentido, el principal desafío radica en la apropiación de prácticas técnicas, donde el uso adecuado del hielo y la medición confiable de la temperatura son determinantes para preservar los atributos organolépticos y la inocuidad del pescado.



07

Problemas **Evidenciados**



Los problemas identificados se derivan del contraste entre las necesidades metroológicas previamente establecidas y las capacidades disponibles en la región. Estos hallazgos se asocian a factores críticos como la pertinencia y coherencia de la oferta de servicios, los tiempos de respuesta en función del propósito de la medición, el aseguramiento de la validez de los resultados, la trazabilidad metroológica y el desempeño

de los métodos empleados por los laboratorios. De esta manera, estos aspectos se analizan en el contexto del nivel de articulación y aprovechamiento de los servicios ofrecidos por las entidades que conforman la Infraestructura Nacional de la Calidad. En la Figura 3 se presenta el listado de los doce (12) problemas identificados.

Figura 3. Listado de problemas identificados



**i**

El análisis de los desafíos identificados permite agruparlos en cuatro categorías principales:

- 1.** Acceso limitado a servicios de medición y ensayo especializados.
- 2.** Debilidades en la trazabilidad metrológica de los resultados.
- 3.** Baja apropiación de herramientas metrológicas por parte de los productores.
- 4.** Una oferta de servicios de calibración y ensayo que no responde de manera consistente a las necesidades del sector.



La priorización de estos problemas se realizó mediante un ejercicio participativo que involucró representantes de unidades productivas, academia, expertos de mercado, gremios sectoriales y actores de la Infraestructura Nacional de la Calidad. Este proceso permitió consolidar una visión integral y consensuada sobre los desafíos más críticos y urgentes para el fortalecimiento del sector.



08

Identificación de brechas metrológicas y plan de trabajo



Las brechas metrológicas identificadas y el plan de trabajo asociado se orientan a la definición de acciones estructuradas sobre los aspectos críticos del sistema analizado. Estas brechas se agrupan en las siguientes categorías:



Brechas metrológicas (BM):

Asociadas a limitaciones en la calidad de las mediciones, particularmente en aspectos como la trazabilidad metrológica, la validación de métodos y la aplicación de buenas prácticas de medición.



Existen laboratorios de ensayo que realizan mediciones requeridas por el sector; sin embargo, desconocen algunos temas relevantes para la validez de sus resultados, tales como trazabilidad metrológica y buenas prácticas de medición; uso y mantenimiento de instrumentos de medición, asociados a sus servicios



Existen productores y laboratorios que realizan las mediciones requeridas para sus procesos; sin embargo, desconocen el manejo apropiado de instrumentos de medición y los conceptos fundamentales de la metrología para la aplicación de protocolos estandarizados para las mediciones de campo y las mediciones en los laboratorios, interpretación y uso de certificados de calibración e informes de medición, entre otros.



Existen laboratorios de ensayo que realizan mediciones microbiológicas y moleculares requeridas por el sector; pero, presentan oportunidades de mejora en sus procesos de validación y verificación de sus métodos de medición



Brechas de servicios metrológicos (BSM):

Relacionadas con la disponibilidad, cobertura y acceso a servicios como ensayos, calibración, materiales de referencia y ensayos de aptitud, requeridos por los diferentes actores del sector.



Los laboratorios de ensayo realizan las mediciones de análisis fisicoquímico del agua; sin embargo, no cuentan con oferta de servicios de calibración en la región para magnitudes como masa, temperatura, volumen, entre otras.



Los laboratorios de ensayo que realizan mediciones microbiológicas y moleculares prestan los servicios de medición al sector; sin embargo, no cuentan con herramientas para el aseguramiento de la validez de los resultados como métodos normalizados, ensayos de aptitud, materiales de referencia certificados, controles de medición, entre otros.



La detección de sustancias inorgánicas como cadmio, arsénico, plomo y mercurio es un requisito fitosanitario de orden nacional e internacional; sin embargo, en la región no existe la oferta de laboratorios de ensayo con las capacidades requeridas por el mercado.



Brechas de innovación metrológica (BIM):

vinculadas a la necesidad de desarrollar, adaptar o transferir tecnologías, herramientas y métodos de medición especializados que respondan a condiciones productivas específicas, riesgos sanitarios emergentes o nuevas exigencias de mercado.



Existen laboratorios de ensayo que realizan mediciones requeridas por el sector; sin embargo, desconocen algunos temas relevantes para la validez de sus resultados, tales como trazabilidad metrológica y buenas prácticas de medición; uso y mantenimiento de instrumentos de medición, asociados a sus servicios

En la Tabla 6 se presentan las acciones propuestas para la reducción y cierre de las brechas identificadas. Este plan contempla la articulación del Instituto Nacional de Metrología (INM) con otros actores de la Infraestructura Nacional de la Calidad, con el propósito de promover intervenciones sostenibles y alineadas con las necesidades del territorio.





Tabla 6. Descripción del plan de trabajo resultante del estudio de brechas de bioseguridad

Brecha	¿Qué hacer?	Responsable	Periodo de ejecución			Dirigido a
			Corto	Mediano	Largo	
BM1	<p>Fortalecer las competencias metrológicas de los laboratorios de ensayo que prestan servicios al sector de la acuicultura mediante talleres sobre trazabilidad metrológica, buenas prácticas de medición y aseguramiento de la validez de los resultados.</p> <p>Para ello, se propone un evento virtual de alcance nacional que aborde aspectos transversales, complementado con un taller presencial dirigido a la región.</p>	INM / ONUDI	X			Laboratorios de ensayo
BM2	<p>Impulsar las buenas prácticas de medición en los procesos productivos difundiendo material pedagógico y organizando jornadas de sensibilización dirigidas a productores y laboratorios. Estas actividades buscan desarrollar competencias en medición, registro e interpretación de resultados, toma de decisiones basada en datos, uso e interpretación de certificados de calibración e informes de medición, verificación de métodos, verificación intermedia de instrumentos multiparamétricos, calibración y mantenimiento de equipos, así como en la estimación de la incertidumbre de medición, con énfasis en mediciones críticas para la bioseguridad.</p> <p>El taller presencial deberá apoyarse en una identificación previa de los equipos de medición disponibles en los laboratorios participantes, con el fin de orientar los ejercicios prácticos hacia las condiciones reales de operación.</p>	INM / ONUDI	X			Productores primarios y laboratorios de ensayo y calibración



Brecha	¿Qué hacer?	Responsable	Periodo de ejecución			Dirigido a
			Corto	Mediano	Largo	
BM3	Fortalecer los procesos de validación y verificación de métodos de medición microbiológicos y moleculares utilizados por los laboratorios, mediante capacitaciones técnicas enfocadas en la validación y verificación de estos métodos. Esta actividad se articulará con el taller presencial propuesto en la primera brecha, aprovechando su componente práctico y la participación de los laboratorios de la región.	INM		X		Laboratorios de ensayo
BSM1	<p>Promover el fortalecimiento y la articulación de la oferta regional de servicios de calibración para las magnitudes básicas requeridas por los laboratorios de ensayo.</p> <p>Para ello, se propone identificar la oferta existente y consolidar un catálogo de proveedores de servicios de calibración en magnitudes como masa, temperatura y volumen, en articulación con la estrategia de relacionamiento y mercadeo de la Subdirección de Servicios Metroológicos y Relación con el Ciudadano del INM.</p>	INM, laboratorios de calibración, cámaras de comercio y entidades regionales.		X		Laboratorios de ensayo y productores primarios
BSM2	Promover el uso de herramientas metrológicas para el aseguramiento de la validez de los resultados en laboratorios de microbiología y biología molecular, mediante la socialización de esquemas de ensayos de aptitud, el uso de materiales de referencia, la implementación de controles internos y la aplicación de métodos normalizados relevantes para el sector.	INM / ONUDI	X			Laboratorios de ensayo y calibración



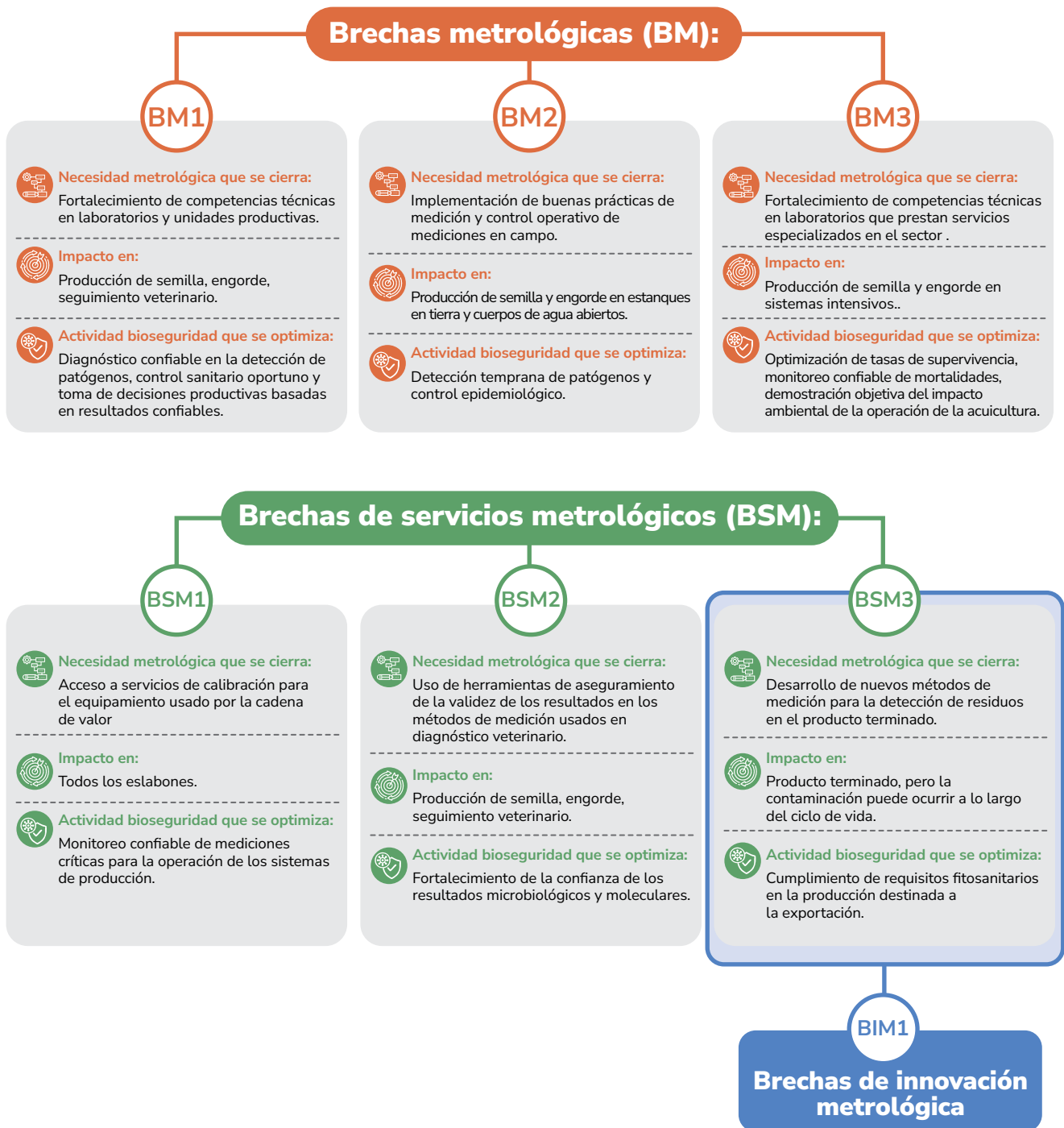
Brecha	¿Qué hacer?	Responsable	Periodo de ejecución			Dirigido a
			Corto	Mediano	Largo	
BSM3	<p>Apoyar el fortalecimiento de las capacidades de medición del sector mediante la articulación con actores clave para generar espacios de identificación y formulación de proyectos de I+D+i orientados al desarrollo y mejora de métodos de medición, así como al acompañamiento técnico para su implementación.</p> <p>Esta acción incluye la búsqueda de plataformas o entidades cooperantes que faciliten la ejecución de los proyectos identificados.</p>	<p>Todas las partes interesadas</p>			X	<p>Laboratorios de ensayo</p>
BIM1						





En la Figura 4 se presenta una síntesis de los principales resultados del estudio, con el propósito de evidenciar cómo el fortalecimiento de las capacidades de medición contribuye a la mejora de prácticas específicas de bioseguridad y al desarrollo de sistemas productivos más robustos.

Figura 4. Relación de impactos en la bioseguridad del estudio de brechas metroológicas de bioseguridad





9. Conclusiones

1. La adecuada gestión de la bioseguridad en la producción de tilapia en el departamento del Huila depende de la disponibilidad y uso de servicios metroológicos confiables en áreas críticas como la calidad del agua, el diagnóstico veterinario y el análisis de residuos. Las brechas identificadas en estos ámbitos representan un riesgo directo para la competitividad del sector y para el cumplimiento de los requisitos exigidos por mercados internacionales, como Estados Unidos y la Unión Europea.
2. El estudio evidencia que la atención de las necesidades metroológicas de la cadena de valor requiere identificar, articular y fortalecer actores estratégicos en el territorio, tales como laboratorios de ensayo, proveedores de servicios de calibración, instituciones académicas y grupos de investigación. Estos actores pueden consolidarse como nodos regionales capaces de responder de manera sostenible a las demandas del sector productivo.
3. En particular, las brechas asociadas a mediciones microbiológicas y moleculares ponen de manifiesto la necesidad de promover la investigación básica y aplicada orientada al desarrollo y validación de métodos de medición, la generación de materiales de referencia, la implementación de controles de calidad y la participación en comparaciones interlaboratorio. Estas acciones son fundamentales para fortalecer la confiabilidad, trazabilidad y comparabilidad de los resultados en el sistema de medición aplicado a la bioseguridad.
4. Adicionalmente, se identifican brechas relacionadas con la limitada articulación y uso de la oferta metroológica existente en la región. Esto resalta la necesidad de alinear las acciones del plan de trabajo con los servicios disponibles, mejorando su accesibilidad, pertinencia y capacidad de respuesta frente a los tiempos requeridos por el sector.
5. La metodología empleada en este estudio es replicable en otras cadenas pecuarias con perfiles de riesgo similares, como el camarón de cultivo, la trucha y cachama, que comparten problemáticas metroológicas análogas. En este contexto, el Instituto Nacional de Metrología (INM) podría priorizar su aplicación en estas cadenas, aprovechando los instrumentos técnicos desarrollados.
6. En conjunto, los resultados confirman que el fortalecimiento de la bioseguridad no depende únicamente del cumplimiento normativo, sino de la integración efectiva de la metrología, la normalización, la evaluación de la conformidad y la capacitación técnica como habilitadores claves para una producción primaria segura, eficiente y alineada con los requisitos de acceso a mercados.



10. Referencias bibliográficas

- Ahmed, M. B. M., Abdel-Rahman, G. N., Ali, M. E. M., Saleh, E. M., Morsy, O. M., Elgohary, M. R., Saad, M. M., & Awad, Y. M. (2023). Potential health risk assessment for heavy metals in Tilapia fish of different spatiotemporal monitoring patterns in Kafr El-Shaikh and El-Faiyum Governorates of Egypt. *Toxicology Reports*, 10(April), 487–497. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.04.004>
- Akinnowo, S. O. (2023). Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. In *Environmental Challenges* (Vol. 12). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>
- Aquaculture Stewardship Council. (2025). *Estandar ASC para granjas* (pp. 1–267). Aquaculture Stewardship Council.
- Barbara Andreina Orozco, C. J. (2025). *El consumo de pescado ha aumentado, hoy está cerca de 10 kilos per cápita al año*. La República. <https://www.larepublica.co/economia/consumo-de-pescado-es-menor-a-10-kilos-al-ano-4093101>
- Best Aquaculture Practices. (2023a). *BAP - Hatchery Standard - Issue 2.1 -Appendix B*.
- Best Aquaculture Practices. (2023b). *BAP Farm Standard Implementation Guidelines*. www.bap-certification.org
- Best Aquaculture Practices. (2025). Feed Mill Certification Standard. In *Certificación* (Issue September, pp. 1–25). Global Seafood Alliance.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). Water Quality and Aquaculture: Preliminary Considerations. *Pond Aquaculture Water Quality Management*, 1–7. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5407-3_1
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2025). *Producto Interno Bruto (PIB) Boletín técnico. I trimestre 2025*. Boletín Técnico.
- Dirección de asuntos económicos. (2023). *ANALDEX*. <https://analdex.org/2023/11/02/informe-mensual-de-exportaciones-colombianas-septiembre-de-2023/>
- Durán, M. (2008). Sanidad animal y seguridad alimentaria: viejos problemas, nuevos enfoques. Impresiones y reflexiones. *Anales de La Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental*, 21(1), 133–158.
- Fantini-Hoag, L., Hanson, T., & Chappell, J. (2022). Production trials of in-pond raceway system growing stocker and foodsize hybrid Catfish plus Nile tilapia. *Aquaculture*, 561(January). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738582>
- FAO. (2023). The Progressive Management Pathway for Improving Aquaculture Biosecurity (PMP/AB): Guidelines for Application. In *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* (Issue 689). <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/548f754b-8cfd-4094-90b5-fc-8f3a08749a/content>



- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). *Code of Practice for Fish and Fishery Products Type* (pp. 1–212). FAO Roma.
- Global seafood Alliance. (2024). *Seafood Processing Standard-Core*.
- Global seafood Alliance. (2025). *Annex 1-Seafood Processing Standard 6.0 Finished Product Testing Operational Guidance*.
- Grasso Toro, F., & Lehmann, H. (2021). Brief overview of the future of metrology. *Measurement: Sensors*, 18(September), 0–3. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100306>
- Hauser-Davis, R. A., Lavradas, R. T., Lavandier, R. C., Rojas, E. G. A., Guarino, A. W. S., & Ziolli, R. L. (2015). Accumulation and toxic effects of microcystin in tilapia (*Oreochromis niloticus*) from an eutrophic Brazilian lagoon. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112, 132–136. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.10.036>
- Jiménez, L. (2007). *Metrología industrial, sistemas de medición y aseguramiento metrológico*. 1–80.
- MacKinnon, B., Debnath, P. P., Bondad-Reantaso, M. G., Fridman, S., Bin, H., & Nekouei, O. (2023). Improving tilapia biosecurity through a value chain approach. *Reviews in Aquaculture*, 15(S1), 57–91. <https://doi.org/10.1111/raq.12776>
- Masser, M. P., & Bridger, C. J. (2008). Estudio De La Acuicultura En Jaulas: América Del Norte. In *Acuicultura en jaulas – Estudios regionales y panorama mundial*.
- Mohamed Din, M., & Subasinghe, R. (2017). Basic biosecurity manual for tilapia hatchery technicians in Bangladesh. *Manual*, 1–28. <http://hdl.handle.net/1834/37002>
- Nathanailides, C., Kolygas, M., Tsoumani, M., Gouva, E., Mavraganis, T., & Karayanni, H. (2023). Addressing Phosphorus Waste in Open Flow Freshwater Fish Farms: Challenges and Solutions. *Fishes*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/fishes8090442>
- ONUDI. (2021). *Proyecto GMAP Colombia: Análisis de mercados-acuicultura en Colombia-camarón de Cultivo y tilapia* (Issue 200025).
- ONUDI. (2025). *Uso y aplicación del hielo en la piscicultura: Guía y recomendaciones prácticas para conservar la calidad e inocuidad* (1st ed., p. 56).
- Organización Mundial de Sanidad Animal. (2021). *Estrategia de la OIE sobre la sanidad de los animales acuáticos 2021-2025* (pp. 1–32). Organización Mundial de Sanidad Animal. www.oie.int
- Paredes-Trujillo, A., & Mendoza-Carranza, M. (2022). A systematic review and meta-analysis of the relationship between farm management, water quality and pathogen outbreaks in tilapia culture. *Journal of Fish Diseases*, 45(10), 1529–1548. <https://doi.org/10.1111/jfd.13679>
- Pulido, E. (2012). PRINCIPALES CAUSAS DE MORTALIDAD EN CULTIVOS INTENSIVOS Y SUPERINTENSIVOS DE TILAPIA EN COLOMBIA Pulido, E.A. 1 Main causes of mortality in intensive and superintensive tilapia farms in Colombia. *Revista Electronica de Ingenieria En Producción Acuícola*, 6(19098138), 1–8. <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1506/1845>
- Rodríguez-Hernández, M. E., Martínez-Castellanos, G., López-Méndez, M. C., Reyes-Gonzalez, D., & González-Moreno, H. R. (2025). Production Costs and Growth Performance of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Intensive Production



- Systems: A Review. *Sustainability (Switzerland)*, 17(4). <https://doi.org/10.3390/su17041745>
- Sanabria, Y. A. P. (2012). Historia de la Acuicultura en Colombia Introducción. *Revista AquaTIC*, 37, 60–77.
- Soto, J. O., Lopez, L., & Ochoa, L. (n.d.). *Functional Feeds in Aquaculture*. 1303–1319.
- Su, Y. L., Feng, J., Li, Y. W., Bai, J. S., & Li, A. X. (2016). Development of a quantitative PCR assay for monitoring *Streptococcus agalactiae* colonization and tissue tropism in experimentally infected tilapia. *Journal of Fish Diseases*, 39(2), 229–238. <https://doi.org/10.1111/jfd.12358>
- Subgerencia de protección animal. (2023). *Programa Nacional de Vigilancia y Control de Enfermedades de Animales Acuáticos* (p. 57).
- Téllez Sánchez, J. P. (2019). *Prospectiva de la producción y comercialización de tilapia en el departamento del huila al año 2029*. Universidad de la Sabana.
- Tumilovich, A. A. (2024). Measurement and unit dissemination procedures as elements of a chain of metrological traceability of measurement results: comparative analysis and classification. *Measurement Techniques*, 67(2), 162–173. <https://doi.org/10.1007/s11018-024-02331-z>
- Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados*. (2012).
- Yakupitiyage, A. (2013). On-farm feeding and feed management strategies in tropical aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583*. Rome, FAO., 361–376.
- Yanong, R. P. E., & Erlacher-Reid, C. (2012). Biosecurity in Aquaculture, Part 1: An Overview. *Southern Regional Aquaculture Centre*, 4707, 1–16. <https://srac.tamu.edu>



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL
Progreso mediante la Innovación

