



Análisis de la calidad del agua para uso agrícola y fortalecimiento del papel social e institucional en la Quebrada El Pescador (Hobo, Huila, Colombia)

Analysis of Water Quality for Agricultural Use and Strengthening of the Social and Institutional Role in the El Pescador Stream (Hobo, Huila, Colombia)

Luisa Fernanda Solórzano-Galindo^{1*}; Henry Reyes-Pineda²

¹Consortio Riego Colombia 2024 (CRC2024), Departamento ambiental y calidad del agua. Neiva - Huila, Colombia; e-mail: lsolorzano105061@umanizales.edu.co

²Universidad de Manizales, Centro de Investigaciones en Medio Ambiente (CIMAD). Manizales - Caldas, Colombia; e-mail: hreyes@umanizales.edu.co

*autor de correspondencia: lsolorzano105061@umanizales.edu.co

Cómo citar: Solórzano-Galindo, L.F.; Reyes-Pineda, H. 2025. Análisis de la calidad del agua para uso agrícola y fortalecimiento del papel social e institucional en la Quebrada El Pescador (Hobo, Huila, Colombia). *Novum Ambiens*. 3(2):e2973. <http://doi.org/10.31910/novamb.v3.n2.2025.2973>

Artículo de acceso abierto publicado por Novum Ambiens, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: 15 de agosto de 2025

Aceptado: 27 de octubre de 2025

Editado por: Estiven Rodríguez

RESUMEN

La calidad del agua es un factor determinante para la productividad agrícola, la sostenibilidad de los ecosistemas y la salud de los usuarios del recurso hídrico. En esta investigación se evaluó la calidad del agua para uso agrícola en la parte baja de la quebrada El Pescador, Hobo - Huila, Colombia, mediante un enfoque técnico y socioinstitucional. Se aplicó una metodología mixta que combinó técnicas estadísticas, índices de calidad del agua, evaluación normativa y entrevistas semiestructuradas a usuarios e instituciones, con el fin de comprender la gestión del recurso hídrico. El análisis se basó en datos fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos en tres estaciones de monitoreo. Los resultados evidenciaron variaciones espaciales y temporales en la calidad del agua, con una contaminación microbiológica por coliformes totales entre 870 y 40.000 NMP/100 mL. Se evidenciaron correlaciones significativas entre los parámetros, lo que sugiere influencias antrópicas asociadas al uso del suelo. La evaluación normativa indicó que el 19 % de los parámetros exceden los límites permisibles, especialmente los coliformes totales y fecales. El índice de calidad del agua clasificó el recurso entre aceptable y regular, mientras que los índices de riego, salinidad potencial, relación de adsorción de sodio e índice de magnesio indicaron aptitud para uso agrícola. Desde el componente cualitativo se identificaron conflictos por el acceso y el uso del recurso, así como una percepción de contaminación asociada al sector piscícola. Los resultados evidencian la necesidad de desarrollar estrategias integradas de monitoreo, gobernanza y participación comunitaria para garantizar un uso sostenible del agua.

Palabras clave: Contaminación por coliformes; Contaminación microbiológica; Gobernanza del agua; Índice de calidad del agua; Sostenibilidad.

ABSTRACT

Water quality is a determining factor for agricultural productivity, ecosystem health, and the well-being of water resource users. In this study, water quality for agricultural use was evaluated in the lower section of the El Pescador stream, Hobo, Huila, Colombia, using a technical and socio-institutional approach. A mixed-methods approach was adopted, integrating statistical techniques, quality indices, and normative assessment, along with semi-structured interviews, to understand the social and institutional roles in water resource management. The analysis was based on physicochemical and microbiological data obtained from three monitoring stations. The results showed spatial and temporal variations in water quality, with microbiological contamination by total coliforms ranging between 870 and 40,000 MPN/100 mL. Significant correlations were identified among the parameters, suggesting anthropogenic influences associated with land use. The regulatory assessment indicated that 19% of the parameters exceeded the permissible limits, particularly total and fecal coliforms. The water quality index classified the resource between acceptable and fair, while the irrigation indices—potential salinity, sodium adsorption ratio, and magnesium index—indicated suitability for agricultural use. From the qualitative component, conflicts related to access to and use of the resource were identified, as well as a perceived contamination associated with the aquaculture sector. Overall, the results highlight the need to develop integrated strategies for monitoring, governance, and community participation to ensure the sustainable use of water resources.

Keywords: Coliform contamination; Microbiological contamination; Sustainability; Water quality index; Water governance.

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento fundamental para la vida de los seres humanos. Está presente en todas las actividades y no se conoce otra sustancia que pueda sustituirla, por lo que se considera que el recurso hídrico definirá el desarrollo sostenible (Balmaseda-Espinosa & García-Hidalgo, 2013). Su uso es, por supuesto, materia de considerable discusión e interacción en el campo sociopolítico y depende, entre otros factores, de la capacidad económica de cada región para mantener o mejorar su calidad (Sierra, 2011).

La calidad del agua es determinante para lograr un equilibrio entre la productividad agrícola y la conservación ambiental, especialmente ante la actual degradación del recurso hídrico y el aumento de su demanda. Así, el agua desempeña un papel central, tanto en la seguridad alimentaria como en el desarrollo sostenible y, por tanto, su deterioro compromete ambos campos (Castellón Gómez *et al.* 2015). Dado que la calidad del agua para uso agrícola depende de su contenido de iones y sales solubles (Cano-Ojeda & Atajo-Condori, 2019), esta calidad se ve afectada por factores, como la gestión de cuencas y la interacción suelo-agua, acorde con estudios internacionales recientes sobre la importancia de la gestión integrada de los recursos hídricos para garantizar la sostenibilidad (Zhang *et al.* 2022).

Pese a lo anterior, las investigaciones sobre la calidad del agua se centran en el uso doméstico. Diversas revisiones bibliométricas evidencian que una proporción significativa de la literatura científica se centra en el agua destinada al consumo humano. Maraddi & Ho (2022), en un análisis de la base de datos Web of Science para el periodo 1990–2019, reportaron un total de 74.277 publicaciones, a nivel mundial, relacionadas con el término “drinking water”, de las cuales, 1.540 correspondían a investigaciones con participación de instituciones de la India. Estas cifras reflejan el amplio interés científico en torno a la calidad del agua potable.

Por su parte, Zhang *et al.* (2023) destacan que los temas predominantes en este campo incluyen la contaminación del agua, los efectos en la salud humana y la gestión de los recursos hídricos, consolidando el predominio del enfoque doméstico y sanitario en las investigaciones sobre la calidad del agua; sin embargo, la calidad de agua destinada al uso agrícola no solo afecta la salud de los cultivos y la productividad, sino que también repercute en la salud humana, la biodiversidad acuática y la salud de los ecosistemas (Guerra, 2022). Dado que el agua usada para riego está expuesta a contaminantes de múltiples fuentes, resulta esencial su monitoreo, para garantizar la seguridad de los productos agrícolas para consumo humano (García, 2021).

En el marco de la gestión integrada del recurso hídrico (GIRH), existen múltiples enfoques para evaluar su calidad. Entre ellos se encuentran los índices de calidad del agua, que son indicadores ambientales de naturaleza física, química y biológica (Losada *et al.* 2020). Estos índices se relacionan con variables, atributos o propiedades que describen características del estado del sistema hídrico (Valenzuela, 2020) y, por tanto, resultan útiles para los

programas de monitoreo, control y gestión del recurso hídrico. Su aplicación varía según la normativa vigente en cada país o según los programas y disposiciones relacionados con las políticas gubernamentales (Guerrero-Padilla & Cabrera-Carranza, 2021). De acuerdo con Akhtar *et al.* (2021), el índice de calidad del agua (ICA) es un indicador que simplifica significativamente los complejos conjuntos de datos sobre la calidad del agua, al proporcionar un único valor de clasificación que refleja el estado de las masas de agua o su grado de contaminación.

Adicionalmente, existen índices de calidad específicos para riego agrícola, a saber, relación de adsorción de sodio (RAS), salinidad potencial (SP), conductividad eléctrica (CE), índice de magnesio (Img), entre otros. Estos índices fueron desarrollados por autores clásicos, que siguen siendo referencias esenciales por su sólido aporte metodológico. Entre estos, se encuentran la obra de Ayers & Westcot (1985), publicada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el estudio de Richards (1954), publicado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Actualmente, se vienen integrando herramientas estadísticas y geoespaciales en la evaluación de la calidad del agua, como las empleadas por Sener *et al.* (2017), que complementan las metodologías para este tipo de análisis.

Por su parte, la evaluación normativa de la calidad del agua es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria, la sostenibilidad de los cultivos, la salud pública y el ecosistema en general. Ayers & Westcot (1985) establecieron las directrices para evaluar la calidad del agua destinada al uso agrícola; a partir de allí, se han desarrollado criterios de calidad normativos que se ajustan a los diferentes contextos para el establecimiento de normativas nacionales y locales, conformes a las políticas del recurso hídrico.

De otro lado, en el aspecto social de la investigación, se tiene en cuenta el enfoque de Emirbayer & Mische (1998), quienes desarrollaron la teoría de la estructura relacional, que se centra en las conexiones y relaciones entre las personas y las instituciones en la sociedad. Se puede inferir o preguntar cómo las prácticas agrícolas y la calidad del agua para uso agrícola están interconectadas, es decir, cómo la relación entre agricultores, la comunidad local y las instituciones que regulan el uso del agua impacta el desarrollo socioambiental desde las potencialidades colectivas. Es así como la participación y la comunicación del conocimiento sobre la calidad del agua para uso agrícola entre los actores sociales contribuyen de manera significativa a la GIRH, a nivel regional, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la ONU (2015), en particular, el ODS 6 (agua limpia y saneamiento), el ODS 2 (hambre cero) y ODS 16 (gestión institucional).

Las brechas y necesidades relacionadas con la calidad del agua para uso agrícola en el departamento del Huila (Colombia) están determinadas por problemáticas latentes como la contaminación, la sobreexplotación, la falta de monitoreo y de datos, la insuficiente inversión en infraestructura, capacitación y educación ambiental, el cambio climático y el desconocimiento, por parte de los usuarios, de las políticas y regulaciones asociadas al uso del agua en la agricultura.

En este sentido, el desarrollo sostenible del departamento enfrenta desafíos que requieren la implementación de soluciones efectivas. En este contexto, el presente estudio da respuesta a algunas de las demandas priorizadas por el Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación (CODECTI), como el fortalecimiento de los sectores productivos, la optimización del uso del recurso hídrico en los sistemas de cultivo y la implementación de entornos de aprendizaje, investigación e innovación (Universidad de Manizales & Corporación Universitaria del Huila, 2022).

Aunque la quebrada El Pescador es una fuente importante para la agricultura local, los usuarios priorizan la cantidad de agua sobre su calidad, aspecto que es abordado en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) y adoptado por la autoridad ambiental (CAM, 2019). Esta investigación busca analizar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua para uso agrícola en la parte baja de la Quebrada El Pescador, en el municipio de Hobo (Huila, Colombia), mediante un diagnóstico técnico-normativo, que permita determinar su calidad para este uso en la zona de estudio.

Se adopta una metodología mixta que integra técnicas estadísticas, índices de calidad y evaluación normativa (métodos cuantitativos), con la participación comunitaria (método cualitativo), con el fin de

fortalecer el papel social e institucional en la gestión de la calidad del agua en el sector agrícola. Como hipótesis principal, se infiere que la calidad del agua de la parte baja de la quebrada El Pescador es apta para uso agrícola; sin embargo, algunos contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos presentes pueden restringir su uso y, al mismo tiempo, contribuir a la degradación de su calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo y alcance de la investigación. La investigación es de tipo mixto con un alcance descriptivo. De acuerdo con Hurtado (2000), este tipo de alcance tiene como objetivo central lograr la descripción del evento de estudio dentro de un contexto particular.

Área de estudio. La quebrada El Pescador (Figura 1) se localiza en las estribaciones de la cordillera oriental, en jurisdicción del municipio Hobo (Huila, Colombia). Forma parte de la cuenca hidrográfica del río Magdalena, que constituye el eje del sistema hídrico del municipio, donde confluyen las fuentes hídricas que nacen en su región oriental. Nace a una altitud de 1.800 m s.n.m., en cercanías del Filo Pan de Azúcar. Tiene una longitud de 18,38 km hasta depositar sus aguas en el embalse de Betania (CONSORCIO PORH CAM, 2017).

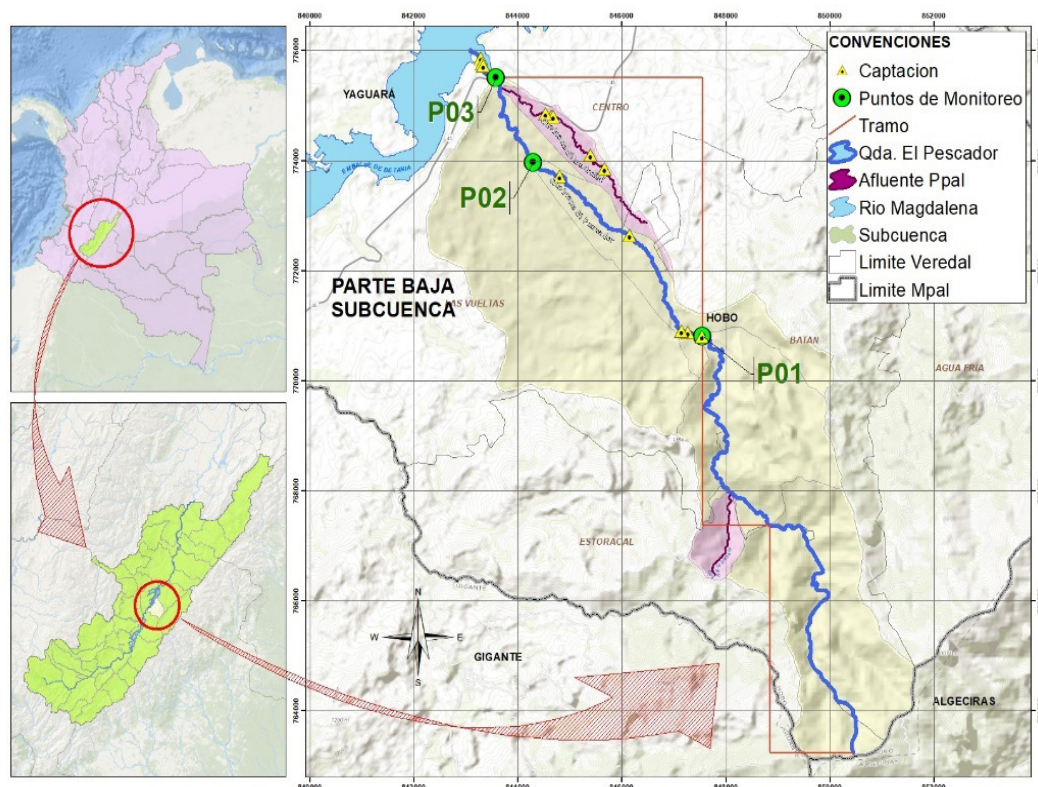


Figura 1. Zona de estudio y sitios de monitoreo de la quebrada El Pescador. P01: quebrada antes de la captación San Luis, P02: después de los descoles provenientes de labranzas y P03: antes de desembocar al embalse de Betania. Fuente: Adaptado de Consorcio PORH CAM (2017).

Población y muestra. La población o universo para el análisis cuantitativo correspondió a la quebrada El Pescador, desde su nacimiento hasta desembocadura. La muestra estuvo conformada por tres sitios de monitoreo ubicados en la parte baja de la quebrada y en el tramo comprendido entre los 900 y 550 m s.n.m. (Figura 1). La selección de los puntos de monitoreo se basó en los siguientes criterios:

- Se encuentran incluidos en la red de monitoreo del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH) de la quebrada El Pescador, adoptado en 2019, por la autoridad ambiental del departamento del Huila (CAM, 2019), lo que permite contar con antecedentes de calidad del agua y trazabilidad temporal.
- Son de fácil acceso y se localizan en la parte baja de la quebrada, donde se concentran los usuarios del sector agrícola.
- Su ubicación permite evaluar la variación de la calidad del agua a lo largo del tramo analizado.

Unidad de análisis y de trabajo. La unidad de análisis corresponde a los actores sociales (Usuarios) y a los actores institucionales encargados de participar en la gestión integral del recurso hídrico, en el ámbito local y regional. La unidad de trabajo corresponde al censo realizado entre dichos actores sociales e institucionales. Los actores sociales están representados por 12 usuarios del recurso hídrico del sector agrícola de las veredas El Centro (5), Las Vueltas (3) y El Batán (4) del municipio de Hobo. Los actores institucionales están representados por la alcaldía del municipio de

Tabla 1. Índices utilizados para evaluar la calidad del agua.

Nº	Ecuación	Descripción	Fuente
1	$ICA_j = \left(\sum W_i \cdot I_{ij} \right)$	<i>ICA_j</i> : Es el Índice de Calidad del Agua a la altura de un punto de monitoreo <i>j</i> . <i>W_i</i> : Es el peso ponderado asignado a la variable de calidad <i>i</i> . <i>I_{ij}</i> : Es el valor calculado de la variable <i>i</i> , en el punto <i>j</i> en la curva funcional <i>i</i> : variable que hace parte del indicador.	(IDEAM, 2023)
2	$Img\% = \left(\frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \right) \times 100$	Mg ²⁺ Cationes de magnesio en meq/L. Ca ²⁺ Cationes de calcio en meq/L.	(Szabolcs & Darab, 1964)
3	$SP = Cl + \frac{SO_4}{2}$	Cl: Iones de cloruros en mEq/L. SO ₄ : Iones de sulfatos en mEq/L.	(Pérez-León, 2011)
4	$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$	Na ⁺ , Ca ²⁺ y Mg ²⁺ : Cationes de Sodio, calcio y magnesio. Los valores de Na ⁺ , Ca ²⁺ y Mg ²⁺ están dados en mEq/L y los valores del RAS en (mEqL ⁻¹) ^{1/2}	(Richards, 1954)

Para la evaluación del cumplimiento normativo de los criterios de calidad del agua para uso agrícola se realizó:

Selección de parámetros. Un total de 27 parámetros seleccionados, equivalentes al 68 % del total, de acuerdo con las normativas a analizar.

Matriz de evaluación de cumplimiento. Se tuvieron en cuenta criterios de orden internacional establecidos por la FAO (Ayers & Westcot, 1985); criterios de orden nacional correspondiente al decreto No. 1076 de 2015 - artículo 2.2.3.3.9.5, que referencia los límites

Hobo, la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) y la Secretaría de Agricultura del departamento del Huila.

Técnicas e instrumentos de recolección de información. Para el diagnóstico de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua para uso agrícola se ejecutaron los siguientes pasos:

Recolección de información secundaria. Se recolectó y procesó un total de 40 parámetros (37 fisicoquímicos y 3 microbiológicos) en Microsoft Excel. Los datos se obtuvieron para tres sitios de monitoreo (P01, P02 y P03), cada uno con un muestreo anual en 2017, 2018, 2022 y 2023. Los datos fisicoquímicos y microbiológicos utilizados en esta investigación se proporcionaron por la CAM y pertenecen al PORH la quebrada El Pescador - Línea base de calidad del agua 2017 y 2018 (Consortio PORH CAM, 2017) y su primer seguimiento de monitoreo en 2022 y 2023 (CONINTEGRAL, 2023).

Estadística descriptiva y paramétrica. Se obtuvieron los parámetros más representativos (media, desviación estándar, mínimos y máximos), además del coeficiente de Pearson, para identificar asociaciones entre variables y el coeficiente de determinación (R²), en aquellos casos en los que la correlación fue menor a 0,7.

Índices de calidad del agua. Mediante las ecuaciones registradas en la tabla 1, se obtuvieron el ICA y los índices específicos para uso agrícola: índice de magnesio (Img%), salinidad potencial (SP) y relación de adsorción de sodio (RAS).

máximos permisibles (LMP) para uso agrícola en aguas superficiales (Minambiente, 2015) y criterios de orden local con la resolución No. 3623 del 2019, que incluye los objetivos de calidad (ODC) para la quebrada El Pescador (CAM, 2019).

Análisis de resultados. Finalmente, para el análisis cualitativo se ejecutaron:

- Socialización del anteproyecto de investigación a usuarios e instituciones.

- Elaboración de guías de entrevistas semiestructuradas.
- Diligenciamiento de consentimiento informado.
- Aplicación de entrevistas semiestructuradas grupales para los usuarios (presencial) y para las 3 instituciones incluidas en la investigación (formulario electrónico).
- Triangulación metodológica (Hernández-Sampieri *et al.* 2014) de la información cuantitativa y cualitativa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estadística descriptiva y paramétrica. En la tabla 2 se muestran los estadísticos obtenidos para la media, la desviación estándar y los valores extremos de diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua.

Entre los parámetros monitoreados *in situ* se encuentra el potencial de hidrógeno (pH), con un valor medio de 7,37 y baja variabilidad

($\pm 0,27$), lo que indica condiciones neutras en la mayoría de los sitios de monitoreo. Según Chapman & Kimstach (1996), el pH afecta la biodisponibilidad de metales y la actividad biológica, por lo cual, es un parámetro fundamental para la calidad del agua. Para la quebrada El Pescador, el rango de pH obtenido (7,03 - 7,83) es óptimo para la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes esenciales para las plantas.

Por su parte, el oxígeno disuelto presentó un valor medio de 7,06 mg/L, adecuado para la mayoría de los ecosistemas acuáticos (Wetzel, 2001); sin embargo, el valor mínimo registrado (4,00 mg/L) podría indicar eventos de contaminación orgánica que generan demanda de oxígeno, posiblemente asociados a las actividades piscícolas o agrícolas de la zona de estudio. Puntualmente, el valor mínimo de oxígeno disuelto se obtuvo en el sitio de monitoreo P02, correspondiente a la quebrada El Pescador, que se encuentra ubicada aguas abajo de los descoles provenientes de labranzas.

Tabla 2. Resumen estadístico y criterios normativos de calidad del agua.

Nº	Parámetros	Unidades	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Norma de Referencia
1	pH	Unidades de pH	7,37	0,27	7,03	7,83	4,5 – 9,0 **
2	Temperatura	°C	24,06	2,72	20,70	30,10	<40°C **
3	Conductividad eléctrica (CE)	uS/cm	142,51	50,09	70,30	190,50	0 – 3 000 *
4	Oxígeno Disuelto	mg/L	7,06	1,15	4,00	8,15	>4,0 ***
5	Coliformes totales (CT)	NMP/100 mL	8 853,99	13 290,81	870,00	40 000,00	<5 000 **
6	Coliformes fecales (CF)	NMP/100 mL	1 024,92	1 783,18	2,00	5 500,00	<1 000 **
7	E. Coli	NMP/100 mL	211,13	373,17	2,00	1 000,00	< 1 000 *
8	SDT	mg/L	74,59	31,86	32,20	120,00	450 - 2000 *
9	SST	mg/L	32,24	35,03	5,00	118,00	<30 ***
10	Grasas y aceites	mg/L	4,00	1,04	3,00	5,00	ausentes **
11	Nitratos	mg/L	2,66	3,69	0,40	11,20	< 10 *
12	Cloruros	mg/L	3,73	0,87	3,00	5,40	< 140 *
13	Sodio	mg/L	12,49	10,89	7,20	46,70	< 70 *
14	Sulfatos	mg/L	8,20	7,60	1,00	17,10	< 960 *
15	Fósforo Total	mg/L	0,20	0,17	0,03	0,57	<0,5 ***
16	DBO5	mg/L	3,12	1,53	2,00	6,20	<5,0 ***
17	DQO	mg/L	6,26	4,15	2,00	11,10	< 100 *
18	Arsénico	mg/L	0,026	0,026	0,001	0,050	< 0,10 *
19	Cadmio	mg/L	0,002	0,001	0,001	0,002	< 0,01 *
20	Zinc	mg/L	0,05	0,000	0,05	0,05	< 2,0 *
21	Cobre	mg/L	0,06	0,04	0,01	0,10	< 0,20 *
22	Hierro	mg/L	0,70	0,73	0,16	2,80	< 5,0 *
23	Plomo	mg/L	0,01	0,00	0,01	0,01	< 5,0 *
24	Selenio	mg/L	0,03	0,02	0,00	0,05	<0,02 **
25	Vanadio	mg/L	0,03	0,02	0,01	0,04	<0,1 **
26	Cromo	mg/L	0,06	0,04	0,02	0,10	< 0,10 *
27	Mercurio	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	< 0,002 *

Normas de referencia para uso agrícola: * 16, Ayers & Westcot (1985); ** 7, Decreto N° 1076 de 2015; *** 4, ODC (CAM): Resolución N° 3623 de 2019

A partir de los resultados obtenidos en el monitoreo *ex situ*, se identifican patrones comunes en diversos parámetros fisicoquímicos que se presentan en cuerpos de agua bajo influencia agrícola; por ejemplo, la CE y los SDT suelen estar estrechamente relacionados debido a la disolución de sales de origen agrícola e industrial (Zhang *et al.* 2022), lo cual, se confirma en la quebrada El Pescador (Figura 2A, $r = 0,95$). Esta relación respalda el uso de la conductividad como un indicador clave de la salinidad, con incidencia directa en la disponibilidad de nutrientes para los cultivos (Castellón Gómez *et al.* 2015). De manera complementaria, la relación entre la turbiedad y los SST (Figura 2B, $r = 0,92$) puede estar asociada al arrastre de partículas de suelo generado por procesos de escorrentía (Akhtar *et al.* 2021), especialmente en zonas con prácticas agrícolas intensivas o con vertimientos industriales, donde la erosión del suelo puede incrementar la turbidez y alterar el equilibrio ecológico de los ecosistemas acuáticos (Sener *et al.* 2017).

Se infiere que las relaciones anteriormente descritas podrían estar vinculadas con actividades piscícolas. Durante el encuentro de socialización realizado el 28 de septiembre de 2024, en el municipio de Hobo, los usuarios del recurso hídrico de la quebrada El Pescador manifestaron que *“la mayor cantidad de agua de la quebrada El Pescador y sus tributarios es tomada por el sector piscícola de la región y, a su vez, es contaminada con las aguas residuales provenientes de esta misma actividad”*.

De manera congruente, el estudio de demanda hídrica, incluido en el diagnóstico del PORH de la quebrada El Pescador, reportó una demanda total de 97,79 L/s, de los cuales, el 63,28 % (equivalente a 61,89 L/s) fue otorgada al sector pecuario–piscícola. Cabe resaltar que todas las concesiones de agua registradas se localizan en la parte baja del cauce, correspondiente al tramo 3 de la corriente (Consortio PORH CAM, 2017).

Asimismo, el diagnóstico del ordenamiento de la quebrada El Pescador mostró un índice de uso de agua (IUA) alto (36,79 %) y crítico (146 %) para un año hidrológico normal y seco, respectivamente.

Adicionalmente, esta zona presenta un índice de vulnerabilidad hídrica (IVH) alto y muy alto, lo cual, se asocia con una baja oferta hídrica baja y, por ende, con posibles riesgos de desabastecimiento (CONSORCIO PORH CAM, 2017). Este comportamiento influye en la calidad del agua de este tramo de la quebrada, ya que a menor caudal disminuye la capacidad de autodepuración de los contaminantes, además de generarse variaciones de temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes, materia orgánica y coliformes (Graham *et al.* 2024).

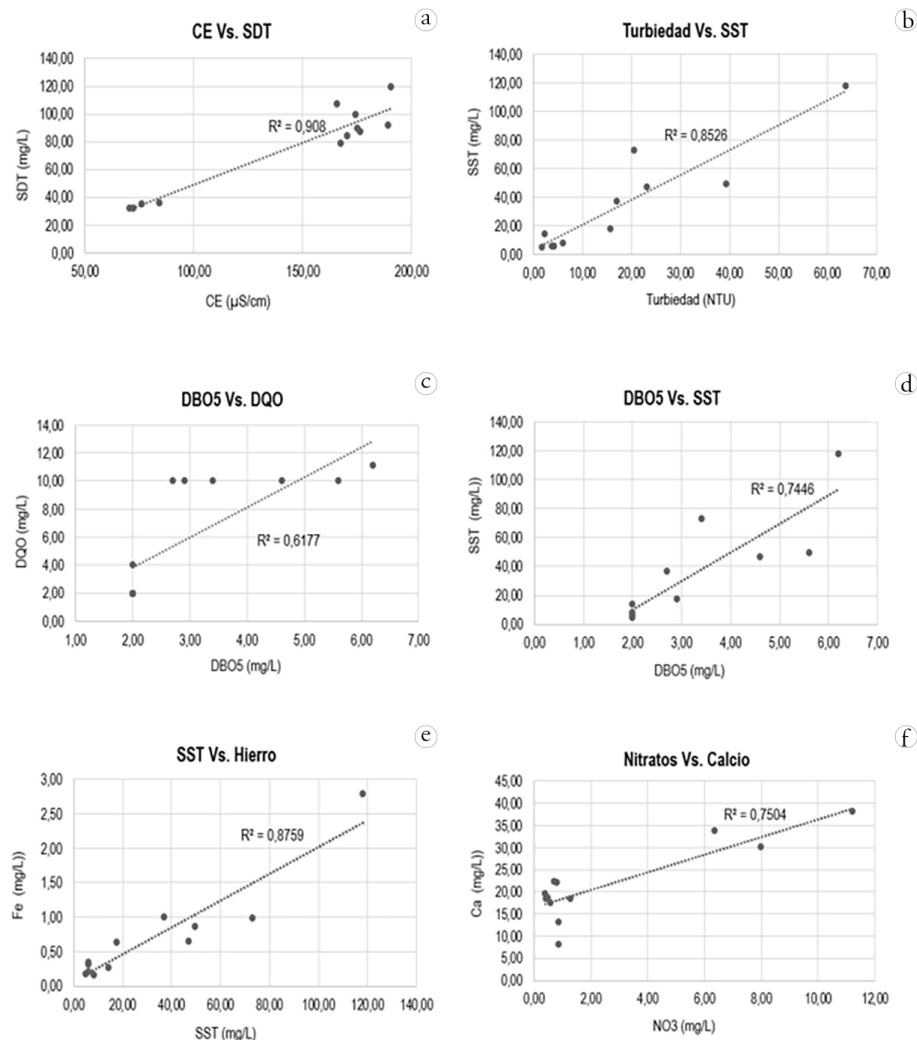


Figura 2. Regresión lineal entre parámetros con coeficientes de Pearson $>0,7$.

Por su parte, los SST y el Hierro presentan una fuerte correlación (Figura 2E, $r = 0,93$), probablemente asociada al proceso de erosión del suelo y al ingreso de material particulado al agua, lo que ha sido reportado en corrientes impactadas por actividades agropecuarias (Sener *et al.* 2017). Asimismo, la relación entre los nitratos y el calcio (Figura 2F, $r = 0,86$) sugiere procesos de lixiviación de nutrientes desde suelos agrícolas, en concordancia con investigaciones sobre la contaminación del agua por fertilización excesiva (Akhtar *et al.* 2021); no obstante, dado que los nitratos no excedieron el límite máximo permisible para uso agrícola y el calcio no representó incidencia negativa dentro de la determinación de la RAS, esta relación podría estar más vinculada a las actividades piscícolas intensivas en la zona de estudio.

Índice de calidad del agua – ICA. Este índice se determinó mediante ocho parámetros (%OD, CF, PH, DQO, SST, CE y NT/PT) y con

la aplicación de la ecuación 1 (Tabla 1). De acuerdo con Hernández-Álvarez *et al.* (2021), el ICA se utiliza como referente para evaluar, de manera general, la vulnerabilidad del recurso hídrico y el grado de contaminación del agua.

De acuerdo con los resultados del ICA (Figura 3), mayoritariamente, la calidad del agua osciló entre aceptable y regular. En los puntos P01 durante los monitoreos de 2017 y 2018, así como en el punto P02 en 2022, se obtuvieron clasificaciones de calidad regular. Estos resultados estuvieron influenciados, de manera general, por la alta concentración de coliformes fecales, los SST y la CE, asociados, además, a la época de caudales bajos o temporada de verano, en la que se realizaron los monitoreos.

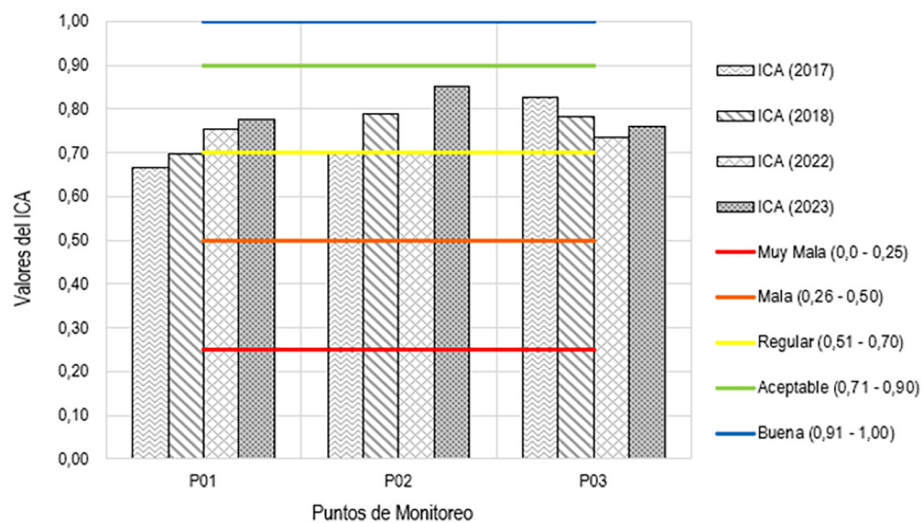


Figura 3. Índice de calidad del agua (ICA) – parte baja de la Quebrada El Pescador.

La contaminación microbiológica en el agua por coliformes es latente en aguas superficiales sin ningún tipo de tratamiento, razón por la cual, el agua para consumo humano exige 0 NMP/100mL de coliformes en las distintas normas de regulación de calidad del agua. Para uso agrícola este criterio varía de acuerdo con el contexto de cada territorio y es menos restrictivo que el consumo humano. En este estudio se tuvieron en cuenta los criterios establecidos por el decreto No. 1076 de 2015 para CT y CF, los cuales, no cumplieron en ninguno de los tres sitios evaluados con los LMP establecidos.

La variabilidad interanual de los valores del ICA puede estar influenciada por factores como el régimen hidrológico de la quebrada, la intensificación de las actividades agrícolas en determinadas épocas del año y las estrategias de manejo ambiental implementadas por los usuarios. Estos factores, junto con el registro de valores clasificados en la categoría regular en algunos sitios y años, evidencian la necesidad de fortalecer las estrategias de monitoreo y gestión, con el fin de prevenir posibles procesos de degradación, a largo plazo; sin embargo, el hecho de que el ICA no haya descendido a niveles de calidad mala o muy mala constituye un indicador positivo, ya que sugiere que, pese a la presencia

de presiones antrópicas sobre la quebrada, estas no han generado un deterioro crítico de la calidad del agua.

Índices de calidad del agua para uso agrícola. En la calidad del agua para riego (Tabla 3), la proporción de cationes juega un papel fundamental en la estabilidad del suelo y en la disponibilidad de nutrientes para los cultivos (Brady & Weil, 2016).

Tal es el caso del índice de magnesio (Img ; ecuación 2, tabla 1), utilizado para evaluar el impacto del magnesio en la calidad del agua para riego. Según Szabolcs & Darab (1964), valores de Img superiores al 50 % indican predominio del magnesio sobre el calcio, lo que puede deteriorar la estructura del suelo, reducir su permeabilidad y dificultar tanto la infiltración del agua como la aireación.

Asimismo, la salinidad potencial (SP; ecuación 3, tabla 1), que determina el peligro de los cloruros y sulfatos (Balmaseda-Espinosa & García-Hidalgo, 2013), sus resultados se presentan en la tabla 3. Estos valores se ubican dentro de los rangos considerados bajos (Pérez-León, 2011), lo que indica que el agua es apta para uso agrícola.

En cuanto a la relación de adsorción de sodio (RAS; ecuación 4, tabla 1) se obtuvieron valores inferiores a 3, lo que indica una baja tendencia a la sodificación (S1) y, en consecuencia, un impacto limitado sobre la estabilidad estructural del suelo.

Congruentemente, la CE indicó valores de baja salinidad (C1), por lo que el agua de la quebrada El Pescador puede ser clasificada en S1C1, de acuerdo con la FAO (Ayers & Westcot, 1985). Estos resultados coinciden con lo reportado por Mandal *et al.* (2019), para el río Ganges en la India, quienes concluyeron que los valores de RAS y CE eran apropiados para

Tabla 3. Promedio de los índices de uso del agua en riego agrícola.

Punto de Monitoreo	Img (%)	SP (mcq/L)	RAS
P01	30,84 ± 13,61	0,12 ± 0,03	1,1 ± 1,41
P02	29,9 ± 7,17	0,12 ± 0,03	0,45 ± 0,09
P03	28,53 ± 4,64	0,11 ± 0,02	0,54 ± 0,09

Img: índice de magnesio, SP: salinidad potencial, RAS: relación de adsorción de sodio.

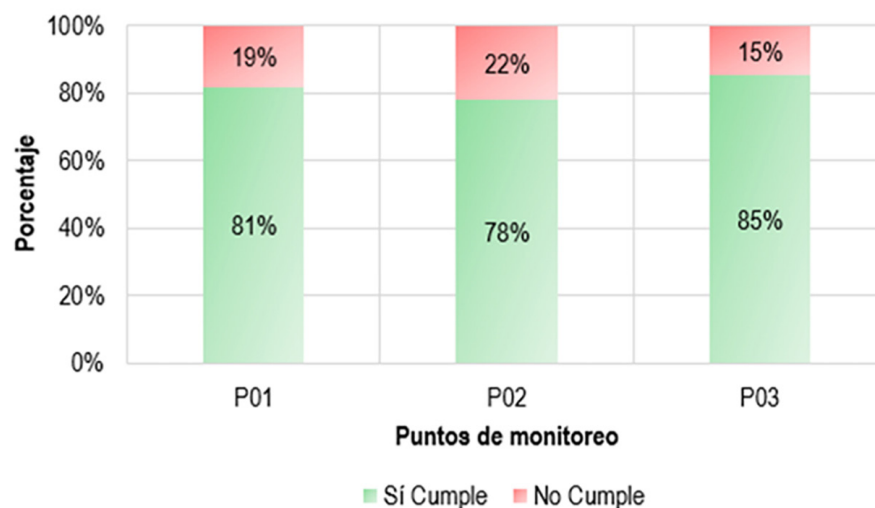


Figura 4. Cumplimiento normativo general.

Triangulación Metodológica. Como se mencionó en el apartado de materiales y métodos, el componente social de la investigación se desarrolló mediante espacios de diálogo y socialización con los usuarios de la parte baja de la quebrada El Pescador, así como con las instituciones con competencia en la gestión integral del recurso hídrico en la zona de estudio.

Entrevistas semiestructuradas. El análisis cualitativo de las entrevistas a usuarios del recurso hídrico y a las instituciones competentes, se presenta en la tabla 4 y evidencia: 1) La percepción de la calidad del agua; 2) los factores que afectan su estado; 3) los conflictos por el acceso y la disponibilidad; 4) las propuestas de gestión.

Los resultados evidenciaron que los agricultores perciben la calidad del agua de la quebrada de manera heterogénea, en función de su experiencia, sus interacciones y sus conocimientos previos. Berger y Luckmann (2003) señalan que la realidad social se construye a través de procesos de

la irrigación agrícola y que la calidad del agua, en términos de sodicidad, era favorable.

Evaluación de cumplimiento normativo. En la figura 4 se presenta el cumplimiento normativo general por punto de monitoreo. Se evidencia que el mayor porcentaje de conformidad se registró en P03 (85 %), seguido de P01 (81 %) y P02 (78 %). En contraste, el incumplimiento de las normas evaluadas para uso agrícola fue bajo (15-22 %), asociado especialmente a parámetros como los coliformes, con mayor incidencia en P02 (quebrada El Pescador después de los descoles provenientes de labranzas).

socialización, en los cuales, la información técnica e institucional influye en la interpretación del recurso hídrico. En este contexto, la divergencia en la percepción de la calidad del agua puede estar asociada a la falta de articulación entre el conocimiento técnico y el saber local, lo que refuerza la necesidad de fortalecer los procesos de comunicación y de educación ambiental.

Por otro lado, los principales factores que afectan la calidad del agua son los conflictos por el acceso y la contaminación derivada de las actividades piscícolas, agroindustriales y mineras. En este contexto, el modelo de la Quintuple hélice de Carayannis *et al.* (2012) es pertinente, pues la gestión del agua debe integrar la participación del gobierno, la academia, el medio ambiente, la sociedad civil y el sector productivo. La falta de coordinación entre estos actores puede agravar los problemas de calidad del agua y perpetuar la desconfianza en las medidas de gestión, imposibilitando una verdadera gobernanza del agua.

Uno de los puntos críticos identificados es la desigualdad en el acceso y la distribución del agua. Los agricultores señalaron la existencia de una concentración del caudal en determinados predios y manifestaron que las actividades piscícolas afectan la calidad del agua (Tabla 4). Desde el

enfoque de las capacidades de Amartya Sen (Gómez-Rodríguez *et al.* 2021), esta situación constituye una vulneración de los derechos de los usuarios, dado que el acceso equitativo al agua es un factor determinante para el desarrollo agrícola y la seguridad alimentaria.

Tabla 4. Matriz de triangulación metodológica.

Nº	Categoría de Análisis	Descripción
1	Percepción de la calidad del agua	A Algunos usuarios atribuyen la mala calidad del agua a las actividades piscícolas, la minería y el uso de agroquímicos; otros la asocian con la turbidez y los olores. Asimismo, se reconoce que el agua de la quebrada no es apta para consumo humano ni doméstico, dado que el acueducto veredal El Centro no cuenta con concesión de uso.
		B Según la línea base del PORH, la calidad del agua varía entre buena y excelente, de acuerdo con los índices obtenidos; no obstante, el índice BMWP, basado en bioindicadores ecológicos, la clasifica entre mala y muy mala, lo que constituye una alerta, ya que este índice revela la presencia o ausencia de familias de macroinvertebrados sensibles a la contaminación orgánica. En cuanto al consumo humano, en algunos puntos el agua no es apta, como ocurre en el acueducto veredal El Centro, razón por la cual, no fue incluida en la reglamentación de esta fuente hídrica. De forma consistente, expresan que el índice de alteración potencial de la calidad del agua para la quebrada El Pescador reporta un nivel Muy Alto, lo que sugiere un aporte significativo de materia orgánica asociado principalmente a actividades agropecuarias y domésticas.
		C El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica calidad aceptable en algunos sitios y regular en otros, con presencia de contaminación microbiológica por coliformes. Para uso agrícola, los índices determinaron que el agua es apta para riego, mientras que la evaluación normativa evidenció un cumplimiento cercano al 85 % de los parámetros; no obstante, se registraron incumplimientos en coliformes totales, fecales y en los sólidos disueltos totales (SDT).
		D La percepción social e institucional coincide con los datos técnicos, resaltando la necesidad de mantener el monitoreo y las acciones preventivas para mejorar la calidad microbiológica del agua.
2	Factores que afectan la calidad del agua	A Los principales problemas identificados fueron: i) conflictos entre usuarios por el acceso y la cantidad de agua; ii) contaminación asociada a actividades piscícolas, uso de agroquímicos y extracción minera de material de arrastre; iii) alto riesgo de contaminación del agua para consumo humano; y iv) conflictos por uso del suelo que limitan actividades agropecuarias en algunos predios, sumados a problemas de orden público en la zona.
		B La autoridad ambiental identificó como principales problemas la escasez de agua en los periodos de estiaje, la contaminación por vertimientos domésticos y piscícolas, y la falta de infraestructura para su tratamiento. La alcaldía municipal señaló dificultades para articular esfuerzos con la comunidad y destacó la desconfianza de los agricultores hacia la institucionalidad. Finalmente, la Secretaría de Agricultura, con base en el Estudio Regional del Agua (CAM, 2016), concluyó que las condiciones de aridez y la baja capacidad de retención del suelo pueden aumentar la concentración de contaminantes, disminuir la disponibilidad de agua para uso agrícola y demandar una gestión más eficiente del recurso para prevenir la escasez y el deterioro de su calidad.
		C De acuerdo con los resultados obtenidos, se infiere que la contaminación del agua podría estar asociada a actividades piscícolas, vertimientos domésticos difusos y a la extracción de material de arrastre. Esta situación se refleja en la presencia de contaminación microbiológica por coliformes, niveles de oxígeno disuelto superiores a 4,0 mg/L en el punto P02 durante 2022 y en las concentraciones de sólidos registradas.
		D Existe una relación clara entre los factores identificados y los resultados fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Se requiere un enfoque integral para reducir la contaminación y mejorar la calidad del agua.
3	Conflictos por el recurso hídrico	A Los agricultores reportan conflictos por el acceso y la disponibilidad de agua, señalando desigualdad en su distribución por parte de la autoridad ambiental. Asimismo, manifiestan disputas con los piscicultores, a quienes atribuyen la contaminación del agua.
		B La alcaldía señaló conflictos entre agricultores y piscicultores por el abastecimiento de agua, así como casos de explotación del caudal en algunos predios. La CAM advirtió una alta presión de la demanda sobre la oferta hídrica, con captaciones superiores a las autorizadas en las concesiones de agua, ausencia de obras de control del caudal concesionado, conflictos de servidumbre en predios atravesados por derivaciones de aguas de uso público, y predios en donde se deben ejecutar obras para el aprovechamiento de las aguas. Asimismo, destacó los conflictos derivados de los malos olores y el cambio de color del agua ocasionados por vertimientos de aguas residuales. Por su parte, la Secretaría de Agricultura infirió que los conflictos se relacionan más con la disponibilidad del recurso para los usuarios que con la capacidad del ecosistema para abastecer la demanda.
		C La evaluación normativa evidenció que algunos parámetros superan los límites permitidos para uso agrícola, lo que podría restringir su aprovechamiento. Asimismo, con el ICA se confirmó contaminación microbiológica por coliformes en ciertos puntos de monitoreo.
		D La articulación entre instituciones y usuarios se puede fortalecer mediante su inclusión en las mesas de trabajo y en la ejecución de los monitoreos de seguimiento al recurso hídrico, lo que contribuiría a reducir los conflictos asociados al recurso hídrico.

Continuación tabla 4.

4	Propuestas de gestión	A	Mayor presencia de la autoridad ambiental en la zona, junto con procesos de capacitación y acciones de reforestación en la subcuenca El Pescador.
		B	La CAM planteó que continuará con la implementación del componente programático del PORH de la quebrada y con el cumplimiento de la reglamentación de sus aguas. La alcaldía propuso continuar con el acompañamiento a la CAM en los temas ambientales y con la conservación de los predios del municipio de El Hobo para la sostenibilidad del agua. Finalmente, la Secretaría manifestó que continuará con convenios orientados a la conservación de áreas estratégicas que abastecen acueductos municipales y veredales, muchas de las cuales, suministran agua a los distritos de riego.
		C	Es importante que los usuarios y las instituciones con competencia en la gestión del recurso hídrico conozcan los datos cuantitativos sobre la calidad del agua para uso agrícola y respalden los procesos de investigación académica en las fuentes hídricas del departamento de Huila.
		D	La convergencia de propuestas resalta la necesidad de estrategias conjuntas entre agricultores e instituciones para lograr una gestión eficiente y sostenible del agua.

A. Información cualitativa de los Usuarios, B. Información cualitativa de las instituciones, C. Información de datos cuantitativos de calidad del agua, D. Análisis e interpretación.

Aunque no se evaluó la productividad de cultivos específicos, los resultados constituyen una base sólida para diseñar e implementar estrategias de manejo adaptativo orientadas a garantizar la calidad del agua para uso agrícola y de riego. Estas estrategias pueden incluir:

- Monitoreo adaptativo en puntos y periodos críticos (épocas de lluvia, de sequía o durante descargas de vertimientos), con el fin de detectar episodios puntuales de contaminación (Lothrop *et al.* 2018).
- Aplicación de buenas prácticas agrícolas (BPA) focalizadas en la cuenca de la quebrada, como el establecimiento de franjas riparias, cultivos de cobertura y manejo adecuado de estiércol y nutrientes, para disminuir la carga de sedimentos y nutrientes que alcanzan la fuente hídrica (Schmidt *et al.* 2019).
- Definición de umbrales o criterios normativos específicos (por ejemplo, CE, SAR o recuentos microbianos), que activen respuestas escalonadas, como alertas, cambios en las técnicas de riego, tratamientos o restricciones temporales (Lothrop *et al.* 2018).
- Fortalecimiento de la gobernanza adaptativa, integrando usuarios e instituciones en ciclos continuos de evaluación y ajuste de medidas (Nixon *et al.* 2022).

La implementación articulada de estas acciones permitiría traducir el diagnóstico actual en medidas concretas y verificables, para proteger la calidad del agua destinada al uso agrícola.

CONCLUSIONES

El diagnóstico de la calidad del agua de la quebrada El Pescador evidenció que el agua es apta para el riego agrícola; no obstante, algunos parámetros fisicoquímicos (SST) y microbiológicos (CT y CF), pueden restringir su uso. De manera consistente, el índice de calidad del agua (ICA) la clasificó en las categorías aceptable y regular, lo que indica la presencia de contaminantes microbiológicos con potencial impacto sobre la productividad agrícola, la salud de

los usuarios y el ecosistema acuático.

La evaluación de índices específicos para el riego agrícola (Img, SP y RAS) mostró que todos los sitios de monitoreo se encuentran dentro de rangos aceptables, lo que confirma la aptitud del agua para riego. Asimismo, las correlaciones, identificadas entre los parámetros analizados, resultan relevantes para la gestión regional del recurso hídrico, ya que pueden incidir en la eficiencia del riego, la salud humana y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, la evaluación normativa indicó que, aunque la mayoría de los parámetros (78 – 85 %) cumplen con los estándares para uso agrícola, la contaminación microbiológica por coliformes representa un riesgo significativo para la salud pública y el ecosistema, en coherencia con los resultados del ICA.

Finalmente, los conflictos asociados al acceso y uso del recurso hídrico, junto con la percepción de contaminación derivada de actividades productivas (en especial, del sector piscícola), evidencian la necesidad de implementar estrategias integradas de monitoreo y gobernanza. La convergencia de propuestas entre los usuarios y las instituciones subraya la importancia de fortalecer la participación comunitaria y la gestión institucional (ODS 16), como mecanismos clave para asegurar un uso sostenible del agua (ODS 6).

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaran que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

- Akhtar, N.; Ishak, M.I.S.; Ahmad, M.I.; Umar, K.; Md Yusuff, M.S.; Anees, M.T.; Qadir, A.; Ali Almansir, Y.K. (2021). Modification of the Water Quality Index (WQI) Process for Simple Calculation Using the Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) Method: A Review. *Water*, 13(7):905. <https://doi.org/10.3390/w13070905>
- Ayers, R.S., & Westcot, D.W. (1985). Water quality for agriculture. [Paper 29. Rev 1]. Food and agriculture Organization of the United Nations (FAO) .192p.

- <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b1345105-e9e6-4704-81cc-577f8e187278/content>
- Balmaseda-Espinosa, C., & García-Hidalgo, Y. (2013). Calidad de las aguas de la cuenca del Río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas para el riego. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 68–73.
- Berger, P., & Luckmann, T. (2003). La construcción social de la realidad. 1.^a ed., 18.^a reimpresión. Amorrortu Editores, Argentina, 226p. <https://zoopolitikonmx.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/09/la-construccion3b3n-social-de-la-realidad-berger-luckmann.pdf>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2016). The nature and properties of soils. 15th ed. Pearson, Harlow, Inglaterra.
- Cano-Ojeda, J., & Atajo-Condori, J. (2019). Calidad del agua de la irrigación canal N del río Llallimayo y aptitud agrícola distrito Cupí - Melgar 2018. *Revista de Investigaciones*, 8(2):1069-1081. <https://doi.org/10.26788/riepg.v8i2.1374>
- Carayannis, E. G., Barth, T. D., & Campbell, D. F. (2012). The Quintuple Helix innovation model: Global warming as a challenge and driver for innovation. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 1(1), 2. <https://doi.org/10.1186/2192-5372-1-2>
- Castellón Gómez, J. J., Bernal Muñoz, R., & Hernández Rodríguez, M. D. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19(1), 39-50.
- Chapman, D., & Kimstach, V. (1996). Selection of Water Quality Variables. Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environment Monitoring, Chapman Edition, 2nd Edition, E and FN Spon, London, 59-126. <https://doi.org/10.1201/9781003062103>
- Consorcio PORH CAM (2017). Plan de ordenamiento del recurso hídrico de la Quebrada El Pescador, jurisdicción del municipio de Hobo en el departamento del Huila. Contrato de consultoría N° 157 de 2017. Archivo Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), Neiva, Huila.
- Consultoría e Ingeniería Integral S.A.S. [CONINTEGRAL] (2023). Bitácora de actividades en campo. Contrato de consultoría No. 319 de 2021. Archivo Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), Neiva, Huila.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena [CAM] (2016). Evaluación regional del agua superficial. Departamento del Huila. 179 p.
- Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena [CAM] (2019). Resolución No. 3623 del 31 de diciembre de 2019: Por medio de la cual se adopta el plan de ordenamiento del recurso hídrico de la Quebrada El Pescador y sus principales tributarios que discurren por el municipio de Hobo, Departamento del Huila. CAM. https://archivo.cam.gov.co/images/Documentos/Recursos_Hidricos/Res_adopcion_PORH/12_RES_3623_2019_PORH_Pescador.pdf
- Emirbayer, M.; Mische, A. (1998). What Is Agency? *American Journal of Sociology* 103(4), 962–1023. <https://doi.org/10.1086/231294>
- García, L. (2021). Architecture and communication protocol to monitor and control water quality and irrigation in agricultural environments [Tesis doctoral]. Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/174223>
- Gómez-Rodríguez, D. T., Aldana, K., Rodríguez O., & Marco R. (2021). Antropologías del desarrollo, enfoques alternativos y postdesarrollo. Breve revisión de conceptos y apuntes críticos. *Población y Desarrollo* (27)52, 108-122. <https://doi.org/10.18004/PDFCE/2076-054X/2021.027.52.108>
- Graham, D. J., Bierkens, M. F. P., & van Vliet, M. T. H. (2024). Impacts of droughts and heatwaves on river water quality worldwide. *Journal of Hydrology*, 629, 130590. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130590>
- Guerra T. B. (2022). Evaluación de la calidad de agua para riego en unidades productivas agrícolas en el departamento de Sucre, Colombia. Corporación Universidad de la Costa. <https://hdl.handle.net/11323/9226>
- Guerrero-Padilla, A.M., & Cabrera-Carranza, C.F. (2021). Calidad de agua de uso agrícola en la cuenca media del río Jequetepeque, Perú. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(5), 304–349. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-05-07>
- Hernández-Álvarez, U., Pinedo-Hernández, J., Paternina-Urbe, R., & Marrugo-Negrete, J. L. (2021). Evaluación de calidad del agua en la Quebrada Jui, afluente del río Sinú, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1), e1678. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1678>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill Education, México D. F. 600p.
- Hurtado, J. (2000). Metodología de la investigación Holística. Instituto Universitario de Tecnología Capirito & Servicios y Proyecciones para América Latina (SYPAL), Tercera Edición, Caracas, 666 p.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2023). Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA) - Hoja metodológica versión 1.2. https://bart.ideam.gov.co/indiecosistemas/ind/agua/hm/HM_ICA.pdf

- Losada, L. C., Rueda-Sanabria, C. A., Martínez, P. (2020). Evaluación de la calidad del agua en el embalse hidroeléctrico El Quimbo, *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 107-116, enero-junio 2020. <https://doi.org/10.31908/19098367.1800>
- Lothrop, N., Bright, K., Sexton, J., Pearce-Walker, J., Reynolds, K., & Verhoughstraete, M. (2018). Optimal strategies for monitoring water irrigation. *Agricultural Water Management* 199, 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.018>
- Mandal, S. K., Dutta, S. K., Pramanik, S., & Kole, R. K. (2019). Assessment of river water quality for agricultural irrigation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(1), 451-462. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1657-3>
- Maraddi, K. S., & Ho, Y.-S. (2022). A bibliometric analysis of publications on drinking water research in India. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 41(44), 24-42. <https://doi.org/10.9734/cjast/2022/v41i444010>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente] (2015). Decreto 1076 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>
- Nixon, R., Ma, Z., Khan, B., Birkenholtz, T., Lee, L., & Mian, I. A. (2022). Social influence shapes adaptive water governance: empirical evidence from northwestern Pakistan. *Ecology and Society*, 27(3), 37. <https://doi.org/10.5751/ES-13546-270337>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2015). Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015 https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf
- Pérez-León, J. M. (2011). Manual para determinar la Calidad del Agua para riego Agrícola. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Xalapa de Enríquez, Veracruz. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/677890>
- Richards, L.A. (1954) Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Department of Agriculture. Agricultural Handbook No. 60, Washington DC, 7-53.
- Schmidt, M. L., Burras, C. L., Kaleita, A. L., & Gelder, B. K. (2019). Agricultural best management practices (BMPs) to reduce nutrient and sediment runoff: A review. *Environmental Management*, 64(1), 1-15.
- Sener, S., Sener, E., & Davraz, A. (2017). Evaluation of Water Quality Using Water Quality Index (Wqi) Method and Gis in Aksu River (SW-Turkey). *Science of The Total Environment*. 584, 131-144. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>
- Sierra, C. A. (2011). Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico. Universidad de Medellín, Colombia. 460p.
- Szabolcs, I. & Darab, K. (1964). The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content on Soils. *Agrokemia és Talajtan*, 13(Supp), 237-246. https://real.mtak.hu/96046/1/at_1964_13_SUPP_237-246.pdf
- Universidad de Manizales & Corporación Universitaria del Huila Corhuila (2022). Convocatoria 001 del 29 de septiembre de 2022. *Becas para formación de alto nivel: Maestrías y Doctorados*. proyecto BPIN 2021000100133. Sistema General de Regalías. <https://umanizales.edu.co/umedia/los-huilenses-podran-estudiar-maestrias-y-doctorados-con-creditos-educativos-condonables-0>
- Valenzuela, A. J. (2020). Metodología para evaluar el grado de sostenibilidad en unidades productivas agropecuarias de café en el municipio de Hobo, Huila - Colombia. [Monografía]. Universidad EAN (Colombia). 98p. <https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/a3f22646-14c0-4316-84bb-d498ddef9813/content>
- Wetzel, R. G. (2001). Limnology: Lake and River Ecosystems (3.^a ed.). Academic Press. 1006p.
- Zhang, Y., Liu, M., Wang, J., Han, K., Han, F., Wang, B., Xie, S., Yuan, C., Zhao, M., Li, S., & Wang, J. (2023). Bibliometric Analysis of The Association Between Drinking Water Pollution and Bladder Cancer. *Frontiers in Oncology*, 13, 1170700. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1170700>
- Zhang, Y., Tan, Q., Zhang, T., Zhang, T., & Zhang, S. (2022). Sustainable Agricultural Water Management Incorporating Inexact Programming and Salinization-Related Grey Water Footprint. *Journal of contaminant hydrology*, 247, 103961. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2022.103961>