



Análisis de la aplicabilidad del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) en la evaluación de la calidad de agua de la Cuenca del Río Tambo

Analysis of the applicability of the environmental quality index of surface water resources (ICARHS) in the evaluation of water quality in the Tambo River Basin

Análise da aplicabilidade do índice de qualidade ambiental dos recursos hídricos superficiais (ICARHS) na avaliação da qualidade da água de Cuenca del Río Tambo

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Jaime Luis Huerta Lozada

jaimelhuerta_01@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-5010-3473>

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa,
Arequipa - Perú

Johana Verónica Salazar Castillo

johanasalazar100@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-5673-7622>

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa,
Arequipa - Perú

Recibido 10 de Enero 2024 | Arbitrado y aceptado 10 de Enero 2024 | Publicado el 11 de Enero 2024

RESUMEN

El estudio buscó analizar la utilidad del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) en la evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Tambo. Se compararon cuatro índices de calidad de agua utilizando software y metodologías específicas, evaluando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en ocho puntos pertenecientes a la red de puntos de monitoreo de la Autoridad Nacional del Agua ubicados a lo largo de los ríos Titire, Vizcachas, Coralque y Tambo. Los resultados revelaron que el ICARHS se ajusta mejor para describir la calidad del agua en la cuenca, especialmente en la evaluación de metales. Los otros índices (NSF, IDAHO e ICAU) no resultaron aplicables debido a la falta de evaluación de metales, una característica distintiva de la cuenca. En la evaluación de los puntos de monitoreo, el punto RVizc1 ubicado en el río Vizcachas obtuvo el puntaje más alto ("Excelente"), mientras que el punto RTiti1 ubicado en el río Titire recibió el puntaje más bajo ("Muy mala"). La elección de un índice dependerá de las características específicas de la cuenca y las actividades humanas que afectan la calidad del agua.

Palabras Clave: Calidad de agua, Índice de calidad de agua (ICA), cuenca del río Tambo, monitoreo de calidad de agua, ICARHS, ICAU, NSF, IDAHO.

ABSTRACT

The study sought to analyze the usefulness of the Environmental Quality Index of Surface Water Resources (ICARHS) in the evaluation of water quality in the Tambo River basin. Four water quality indices were compared using specific software and methodologies, evaluating physicochemical and microbiological parameters at eight points belonging to the network of monitoring points of the National Water Authority located along the Titire, Vizcachas, Coralque and Tambo rivers. The results revealed that the ICARHS is best suited to describe water quality in the basin, especially in the evaluation of metals. The other indices (NSF, IDAHO and ICAU) were not applicable due to the lack of evaluation of metals, a distinctive characteristic of the basin. In the evaluation of the monitoring points, the RVizc1 point located on the Vizcachas River obtained the highest score ("Excellent"), while the RTiti1 point located on the Titire River received the lowest score ("Very Bad"). The choice of an index will depend on the specific characteristics of the watershed and the human activities that affect water quality.

Keywords: Water quality, Water quality index (ICA), Tambo river basin, water quality monitoring, ICARHS, ICAU, NSF, IDAHO.

RESUMO

O estudo buscou analisar a utilidade do Índice de Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos Superficiais (ICARHS) na avaliação da qualidade da água na bacia do rio Tambo. Foram comparados quatro índices de qualidade da água por meio de softwares e metodologias específicas, avaliando parâmetros físico-químicos e microbiológicos em oito pontos pertencentes à rede de pontos de monitoramento da Autoridade Nacional de Águas localizados ao longo dos rios Titire, Vizcachas, Coralque e Tambo. Os resultados revelaram que o ICARHS é mais adequado para descrever a qualidade da água na bacia, especialmente na avaliação de metais. Os demais índices (NSF, IDAHO e ICAU) não foram aplicáveis devido à falta de avaliação dos metais, característica distintiva da bacia. Na avaliação dos pontos de monitoramento, o ponto RVizc1 localizado no rio Vizcachas obteve a pontuação mais alta ("Excelente"), enquanto o ponto RTiti1 localizado no rio Titire recebeu a pontuação mais baixa ("Muito Ruim"). A escolha de um índice dependerá das características específicas da bacia hidrográfica e das atividades humanas que afetam a qualidade da água.

Palavras-chave: Qualidade da água, Índice de qualidade da água (ICA), cuenca del río Tambo, monitoreo de calidad de agua, ICARHS, ICAU, NSF, IDAHO.

1. Introducción

La calidad del agua de las fuentes naturales superficiales y subterráneas como ríos, quebradas, manantiales, acuíferos, entre otros, viene siendo afectada negativamente por actividades económicas y el acelerado incremento de la población, ocasionando la alteración física, química y biológica de los ecosistemas acuáticos. El deterioro de estos ecosistemas acuáticos repercute en la flora y fauna silvestre que forman parte natural de la reserva hídrica que cuentan las poblaciones para su crecimiento y desarrollo. En nuestro país, el incremento de la población y las actividades industriales generadas por los sectores minero, metalúrgico, energético, hidrocarburos, agrario, pesquero, saneamiento, entre otros, son factores que contribuyen a la afectación de la calidad del agua en el Perú (ANA, 2018).

La ANA como autoridad máxima en la gestión de los recursos hídricos, desde el año 2013 hasta la fecha, a través de su órgano desconcentrado Administración Local del Agua Tambo Alto Tambo ha realizado 12 monitoreos de calidad de agua superficial, a lo largo de toda la cuenca Tambo, entre evaluaciones realizadas en temporada de avenida y estiaje. Al respecto, de acuerdo a la identificación de fuentes contaminantes registrado por la ANA, las fuentes contaminantes provenientes de aguas residuales en la cuenca Tambo son de origen doméstico, agropecuario, municipal, industrial, minero metalúrgico y natural (ANA, 2022). Con respecto a las fuentes contaminantes de origen minero, en el año 2021 la PCM conformó la mesa de diálogo para abordar la problemática de la cuenca del río Coralaque, cuyo espacio surge principalmente debido a la afectación a la calidad del agua en los ríos Coralaque y sus tributarios como son el río Titire, Queullijahuire y quebradas Apostoloni y Margaritani producto de las actividades mineras provenientes de la Unidad Minera Tucari de la empresa Aruntani SAC. La afectación de estas fuentes naturales repercute en los centros poblados que hacen uso con fines agrarios y poblaciones como son las poblaciones de Pachas, Chojata, Matalaque, Omate y Quinistaquillas ubicados en el departamento de Moquegua y la población del Valle de Tambo, conformada por los distritos de Cocachacra, Dean Valdivia, Mejía, Punta de Bombón y Mollendo, ubicados en la provincia de Islay, en el departamento de Arequipa.

La ANA a través de la Dirección de Calidad y Evaluación de los Recursos Hídricos (DCERH), tiene como función la elaboración de instrumentos de gestión ambiental en

materia de protección y recuperación de la calidad de los recursos hídricos y coordina con las Autoridades Administrativas del Agua y Administraciones Locales del Agua, para el desarrollo de acciones de vigilancia, evaluación y fiscalización de la calidad de agua en todas las cuencas del país. En tal sentido, la ANA, como ente rector del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SNGRH), a través de la Resolución Jefatural N° 084-2020-ANA, aprobó el Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS), entendido como una herramienta que permita entender y expresar los resultados de calidad de agua de manera rápida, facilitando su uso, manejo, interpretación y comparación por parte de los actores vinculados con la gestión y administración de los recursos hídricos y el público en general.

En tal sentido se considera la necesidad de comparar el ICARHS con los diversos Índices de Calidad de Agua (ICA) que permita determinar el mejor resultado que refleje y describa en mayor detalle el estado actual de la calidad del agua de la cuenca del río Tambo, información que contribuirá a la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes y población en general para la conservación y manejo de las fuentes de agua de la cuenca del río Tambo.

2. Antecedentes

López Arisaca, Sheyla Rosely (2018). Evaluación de la Calidad de Agua respecto a Metales Pesados presentes en el río Tambo provincia de Islay 2016 – 2018.

El estudio indicó que la calidad del agua del río Tambo en el ámbito de la provincia de Islay, está siendo influenciada por la presencia de los metales boro y arsénico que afectan la actividad agraria, llegando a bioacumularse debido a que superan el ECA para agua. Con respecto a los metales mercurio, cromo, plomo, cadmio y cobre, no superaron el ECA. Por otro lado, el resultado del ICA-PE fue REGULAR.

García Flores de Nieto, Basilia Vilma (2019). Contaminación del agua por metales pesados As, B, Cu, Pb, Cd y CN- en las cuencas de los ríos Tambo, Quilca, Camaná y Ocoña de la región Arequipa.

El estudio indicó que las cuencas de los ríos de la faja litoral, están contaminadas por metales pesados. En la cuenca del río Tambo el arsénico y boro supera los ECA, la cuenca río Quilca, el boro, plomo, y cadmio superan los ECA, en la cuenca del río Camaná

el plomo supera el ECA. Asimismo, indica que el agua poblacional destinada a la ciudad de Mollendo presenta contenido de boro, arsénico y plomo, sobrepasando los ECA. Además, indica que el alto contenido de arsénico en la cuenca del río Tambo se debe al material volcánico de los volcanes Ticsani, Huaynaputina y Ubinas.

ANA (2020). Diagnóstico de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales en la Unidad Hidrográfica Quilca-Vitor-Chili.

El estudio utilizó el ICARHS cuyos resultados en 4 puntos de monitoreo en el río Chili fueron calificados como "pésimo", mientras que el río Vitor y Siguanas fueron calificados como "malo". Estos resultados obedecen a las descargas municipales de la ciudad de Arequipa que fueron vertidas sin tratamiento, así como también a la existencia de vertimientos industriales y domésticos clandestinos. Desde el año 2015, fecha en que entró en funcionamiento la PTAR Enlozada se evidenció la disminución de la contaminación en los cuerpos de agua y por lo tanto la mejora de la calidad del agua en la cuenca Quilca-Chili.

Alarcón Corro, Jorge Fernando (2019). Aplicación de métodos de Índices de calidad de Agua (ICA) en el río Rímac.

El estudio comparó 7 índices de calidad de agua (NSF, ICA – PE, Oregon, León, Dinius, Universal e IDAHO). Los resultados de la calidad del agua del río Rímac indican que los métodos NSF, León, Dinius e IDAHO indican una calidad “regular” mientras que los ICA – PE y Universal obtuvieron una calificación de “bueno” a “regular”, el índice IDAHO calificó como “marginal” y el índice Oregon calificó como “muy pobre”.

El estudio indicó que el mejor índice para el río Rímac fue el ICA NSF, debido a que tiene menor índice de variación y mayor accesibilidad a los parámetros requeridos y evaluación favorable de los parámetros utilizados.

Flores Ruiz, Steven & Vela Panduro, Noluz Clarita (2021). Índice de la calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS) de la unidad hidrográfica bajo Marañón, período 2014-2020.

El estudio utilizó el ICARHS en 7 puntos de monitoreo el cual sus resultados indicaron que la calidad del agua fue “regular” y “bueno”. Los parámetros que superaron

el ECA agua fueron: Oxígeno disuelto, coliformes termotolerantes, fósforo y sólidos suspendidos totales.

Segura Pérez, William Alberto & Salas Diez, Nathalia Alexandra (2022). Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales en la Minería Legal e Ilegal, Ayacucho-Arequipa, 2017 – 2021.

El estudio utilizó el ICARHS en catorce puntos de monitoreo. Los resultados indican que la calidad del agua en zonas de minería legal e ilegal, fue de “Excelente”. Con respecto a los 8 parámetros evaluados, 6 de ellos cumplen el ECA agua, siendo sólo el arsénico y el boro, los metales que no cumplieron el ECA.

3. Marco Teórico

3.1 Calidad del Agua

De acuerdo al RJ N° 180-2016-ANA, la ANA define a la calidad de agua como las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por actividades poblacionales y/o productivas. Asimismo, la ANA determina la calidad del agua comparando las características físicas químicas y microbiológicas de una muestra de agua en comparación de los Estándares de Calidad Ambiental de Agua vigente aprobado por Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM conforme a la categoría correspondiente del cuerpo de agua superficial (ANA, 2018).

3.2 Índice de Calidad de Agua (ICA)

Los índices de calidad de agua constituyen herramientas matemáticas que integran información de varios parámetros, permitiendo transformar grandes cantidades de datos en una escala única de medición de calidad del agua (ANA, 2018).

De acuerdo a lo que indica la ANA, los índices de calidad ambiental, constituyen un instrumento fundamental en la gestión de la calidad de los recursos hídricos debido a que permite transmitir información de manera sencilla sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general; e identifica y compara las condiciones de calidad del agua y sus posibles tendencias en el espacio y el tiempo (ANA, 2020).

3.3 Métodos para calcular un Índice de Calidad de Agua (ICA)

a) Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS)

La ANA con Resolución Jefatural N° 084-2020-ANA aprobó esta herramienta que tiene como objetivo la evaluación del estado de la calidad de los cuerpos naturales de agua calificándolo de forma simplificada y comprensible. La ANA define al ICARHS como una herramienta matemática que integra una cantidad de parámetros, cuyo análisis permite transformar estos datos en un valor que califica el estado de la calidad de los recursos hídricos en un (1) punto de muestreo. La metodología cuenta con 3 etapas: determinación de la zona de estudio, recopilación de información y cálculo del ICARHS.

b) Índice de Calidad de Agua Universal (ICAU)

EL ICAU tiene por objetivo describir la calidad de las aguas superficiales utilizadas para el abastecimiento de agua potable. El cálculo se basa en las directivas de la Unión Europea para aguas a ser destinadas al consumo humano previo tratamiento, con el fin de facilitar su uso en los diferentes países que la conforman (Torres & et.al. 2009).

c) Índice de Calidad de Agua - Fundación Nacional de Saneamiento (ICA – NSF)

Este índice es ampliamente usado en estudios ambientales por agencias interestatales de Estados Unidos. Al respecto, se han utilizado gráficas tridimensionales para mostrar perfiles de calidad del agua donde el índice se coloca en el eje vertical y el tiempo y la distancia en los ejes horizontales, con el fin de detectar tendencias y observar el comportamiento de la contaminación (Ott, 1978). El resultado del índice NSF debe ser un número entre 0 y 100, donde 0 representa la calidad de agua muy pobre y 100 representa la calidad de agua excelente.

d) Índice de Calidad de Agua IDAHO

El objetivo de este índice es poder aplicarlo en cursos de agua para designar el uso adecuado para su protección, sobre la base de que el agua tiene una gran cantidad de usos adecuados como el desarrollo de salmónidos y el contacto primario, al tiempo que está disponible con algunas reservas, para actividades agrícolas y otros usos que no requieren una calidad de agua considerable (Fernández & Solano. 2005).

3.4 Software ICATest v1.0

La Universidad de Pamplona con el objetivo de aportar y contribuir de manera directa a mejorar y optimizar el conocimiento del cálculo de calidad de agua y contaminación diseñó el software ICATEST V 1.0® como una herramienta de soporte, ayuda y apoyo a la investigación que facilita los procedimientos de cálculo de cada gran número de índices de calidad de agua y contaminación (Fernández et al. 2004). El software ICATEST V 1.0, permite realizar la evaluación de la calidad del agua del sistema o recurso hídrico que se está estudiando, con la ventaja de presentar la información de una forma simple, sencilla y comprensible por los distintos usuarios tanto profesionales expertos, estudiantes y público en general (Fernández et al. 2004).

3.5 Software InfoStat

El software InfoStat fue creado por profesionales de Estadística y Biometría de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina (InfoStat, 2008). Una de las principales ventajas del software es su fácil uso y manejo, lo que la hace una herramienta bastante usada para la enseñanza de Estadística en estudiantes universitarios.

4. Metodología

4.1 Descripción del área de estudio

Cuenca del río Tambo

La cuenca del río Tambo se ubica en los departamentos de Puno, Moquegua y Arequipa y forma parte del sistema hidrográfico de la vertiente del Pacífico, cuya área de cuenca es de 13 022.47 km² (ANA, 2019). Asimismo, la red hidrográfica del río Tambo tiene como principales afluentes a los ríos Carumas, Coralque, Ichuña y Paltutur siendo la principal demanda hídrica en la cuenca del Tambo para uso agrícola y en menor proporción para el uso poblacional e industrial. En la cuenca del río Tambo existe 22648.6 ha, de los cuales 9823.71 ha bajo riego se encuentran en valle del Tambo y 12824.9 ha en la parte alta de la cuenca, distribuidos en los sectores de riego de Carumas, Omate, Puquina, Ubinas, Quinistaquillas, Chojata, Yunga y otros sectores menores de riego (ANA, 2019).

Para el presente estudio, el ámbito de trabajo abarca 8 puntos de la red de monitoreo de calidad de agua del ALA Tambo Alto Tambo ubicados en las unidades hidrográficas menores Coralaque, Medio Tambo y Bajo Tambo. A continuación, se hará una descripción de cada una de ellas. Ver mapas en figuras 1 y 2.

Unidad Hidrográfica Menor Coralaque

Esta Unidad Hidrográfica tiene un área aproximada de 1369 km² (ANA, 2019) en cuyas nacientes se encuentra ubicada la Unidad Operativa Florencia Tucari de la empresa minera ARUNTANI S.A, que actualmente se encuentra en la etapa de cierre. Las principales fuentes de agua que se ubican en esta unidad hidrográfica son las quebradas Apostoloni y Margaritani, ríos Queullijahuire, Aruntaya, Titire , Vizcachas y Coralaque. Ver mapa en la figura 3.

Unidad Hidrográfica Medio Tambo

La unidad hidrográfica Medio Tambo tiene un área aproximada de 4273 km² (ANA, 2019), donde se encuentran los ríos Vagabundo, Puquina, Omate y Tambo, donde este último llega a la provincia de Islay, en Arequipa. Ver mapa en la figura 4.

Unidad Hidrográfica Bajo Tambo

La Unidad Hidrográfica Bajo Tambo tiene un área aproximada de 321 km² (ANA, 2019); y abarca la desembocadura del río Tambo hacia el Océano Pacífico tras el cruce de los distritos Cocachacra, Dean Valdivia y Punta de Bombón de la provincia de Islay, Arequipa. Ver mapa en la figura 5.

Figura 1

Mapa de ubicación de la cuenca Tambo y puntos de monitoreo

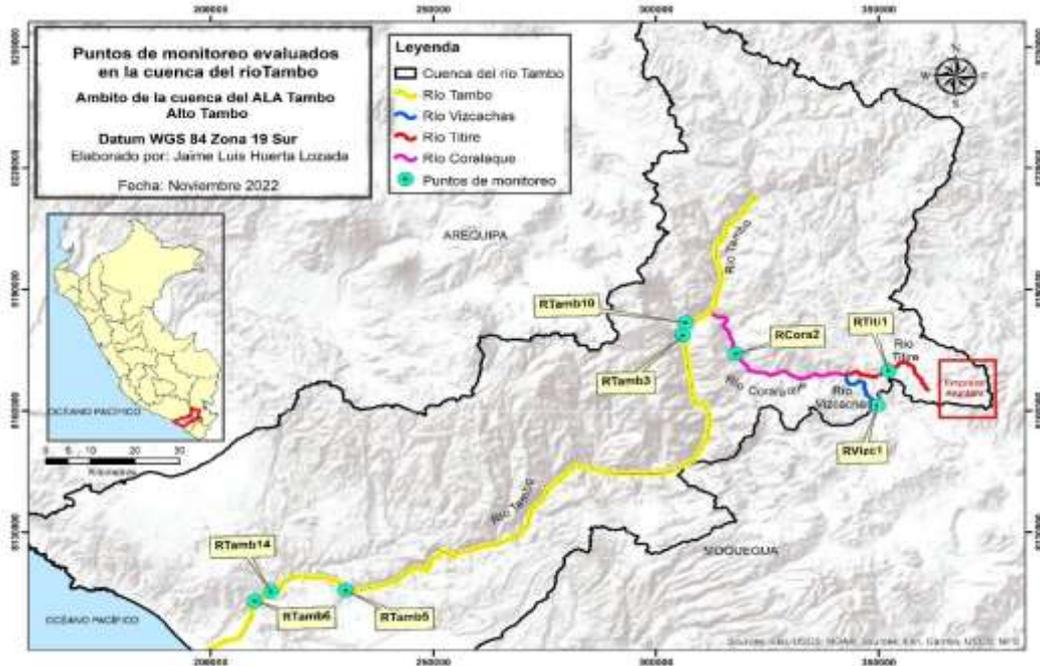


Figura 2

Mapa de ubicación de la cuenca Tambo, con sus unidades hidrográficas y puntos de monitoreo

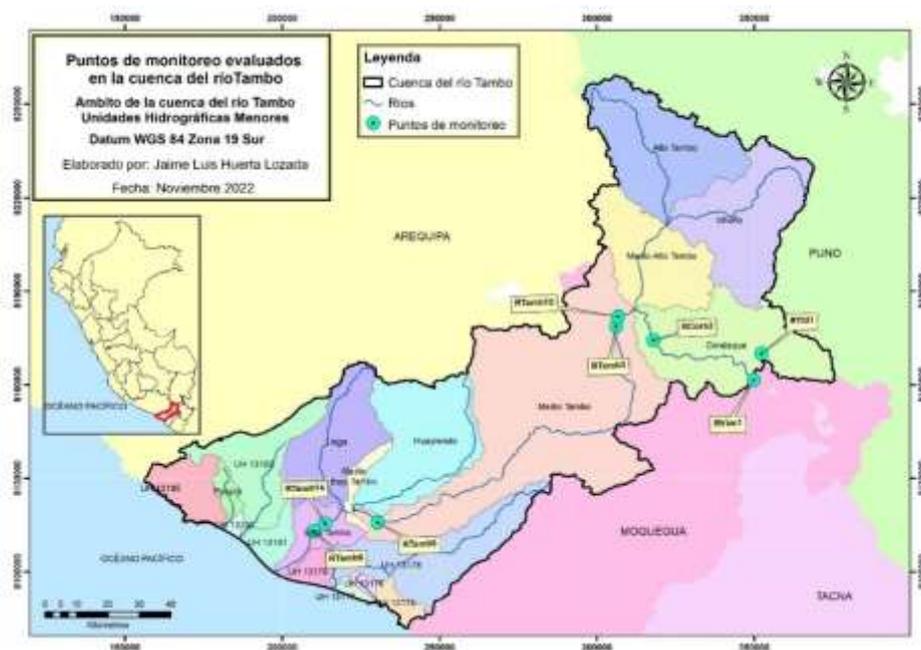


Figura 3

Mapa de ubicación de la unidad hidrográfica Coralaque

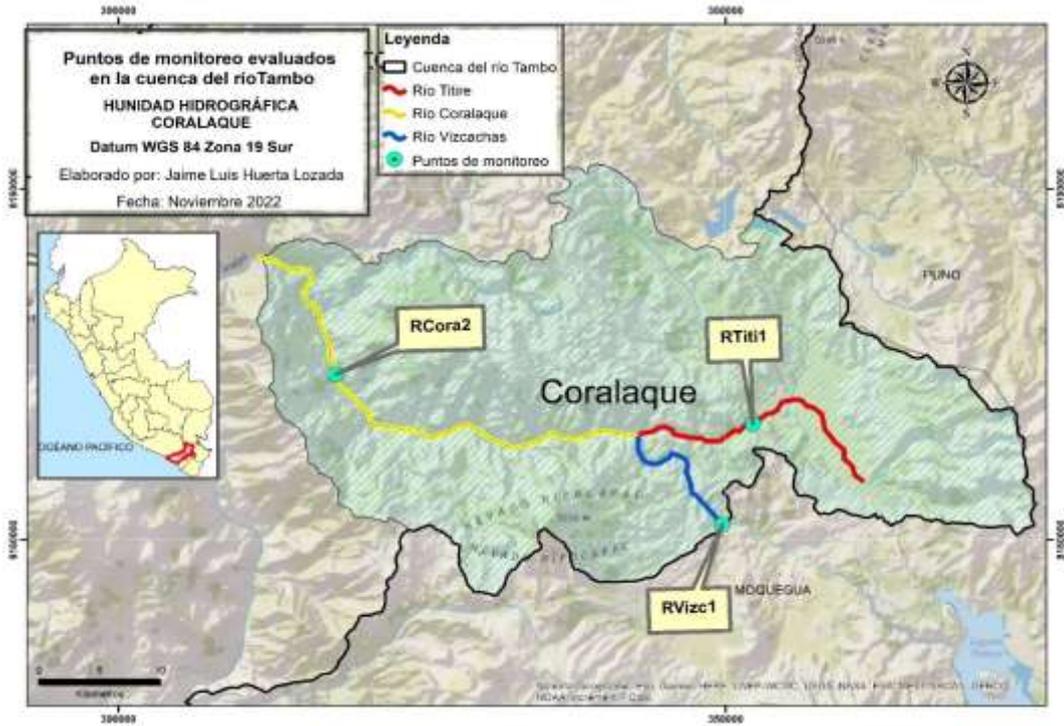


Figura 4

Mapa de ubicación de la unidad hidrográfica Medio Tambo

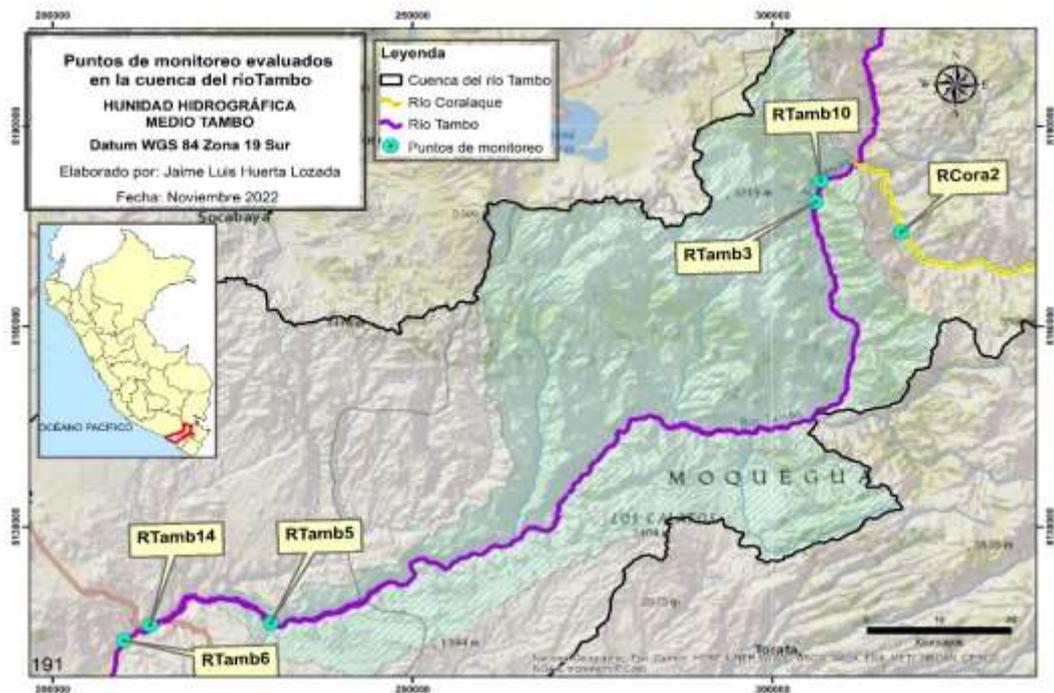


Figura 5

Mapa de ubicación de la unidad hidrográfica Bajo Tambo

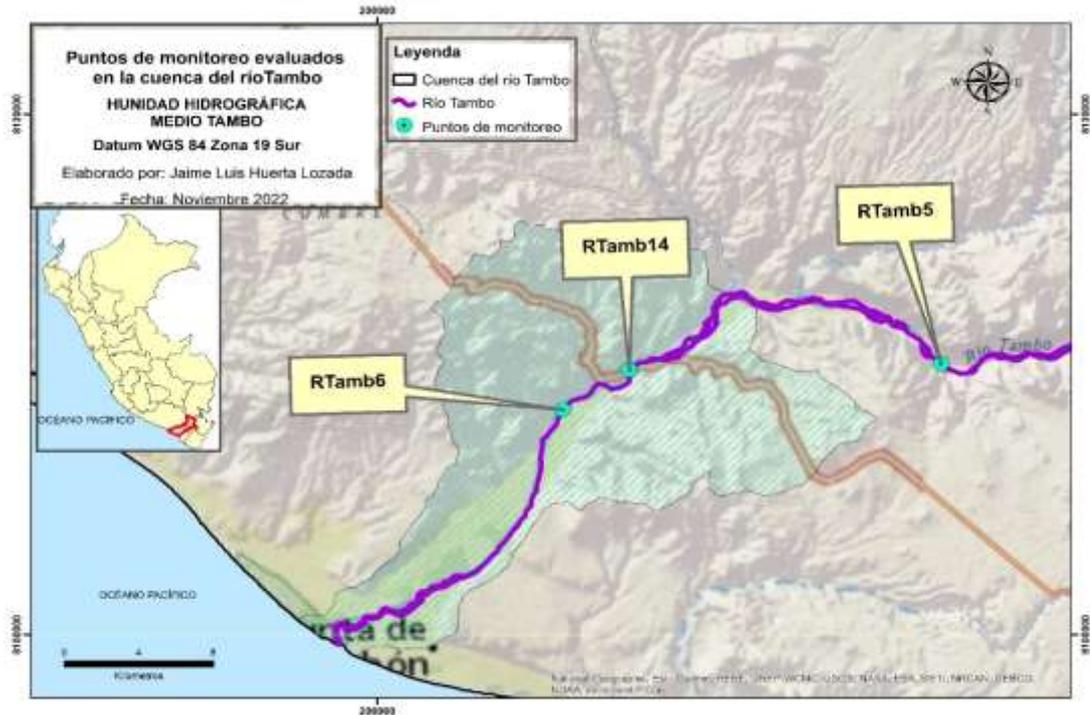


Tabla 1

Coordenadas de los puntos de monitoreo

Unidad Hidrográfica	Departamento	Provincia	Distrito	Código	Descripción	Coordenadas UTM (WGS-84) Zona 19		Altitud msnm
						Este	Norte	
Coralaque	Moquegua	General Sánchez Cerro	Carumas	RTiti1	Río Titire, aguas abajo de Puente Bello	352245	8169922	4346
	Moquegua	General Sánchez Cerro	Carumas	RVizc	Río Vizcacha, antes de su ingreso al Río Titire	349733	8161302	4274
	Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata	RCora2	Río Coralaque, a 5 km aguas arriba del centro poblado Pachas.	317915	8174172	3479
Medio Tambo	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque	RTamb3	Río Tambo, altura del	305994	8178651	2485

Unidad Hidrográfica	Departamento	Provincia	Distrito	Código	Descripción	Coordenadas UTM (WGS-84) Zona 19		Altitud msnm
						Este	Norte	
	Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque	RTamb10	Río Tambo, antes de la confluencia con el Río Ubinas	306686	8181838	2580
	Arequipa	Islay	Cocachacra	RTamb5	Río Tambo sector de Quelgua y/o Carrizal	230326	8115618	342
Bajo Tambo	Arequipa	Islay	Cocachacra	RTamb14	Río Tambo Puente Santa Rosa	213563	8115274	147
	Arequipa	Islay	Cocachacra	RTamb6	Río Tambo aguas arriba de la bocatoma Ensenada Mejía Mollendo	209975	8112973	109

Fuente: Elaboración propia

Figura 6

Río Titire – Punto de monitoreo “RTiti1”

Departamento	Provincia	Distrito	Unidad Hidrográfica	Nombre del río	Código	Descripción	Coordenadas		Altitud
							Este	Norte	
Moquegua	General Sánchez Cerro	Carumas	Coralaque	Titire	RTiti1	Río Titire, aguas abajo de Puente Bello	352245	8169922	4346



Foto: Johana Salazar

Figura 7

Río Vizcachas – Punto de monitoreo “RVizc1”

Departamento	Provincia	Distrito	Unidad Hidrográfica	Nombre del río	Código	Descripción	Coordenadas		Altitud
							Este	Norte	
Moquegua	General Sánchez Cerro	Carumas	Coralaque	Vizcachas	RVizc1	Río Vizcacha, antes de su ingreso al Río Titire	349733	8161302	4274



Figura 8

Río Coralaque – Punto de monitoreo “RCora2”

Departamento	Provincia	Distrito	Unidad Hidrográfica	Nombre del río	Código	Descripción	Coordenadas		Altitud
							Este	Norte	
Moquegua	General Sánchez Cerro	Chojata	Coralaque	Coralaque	RCora2	Río Coralaque, a 5 km aguas arriba del centro poblado Pachas	317915	8174172	3479

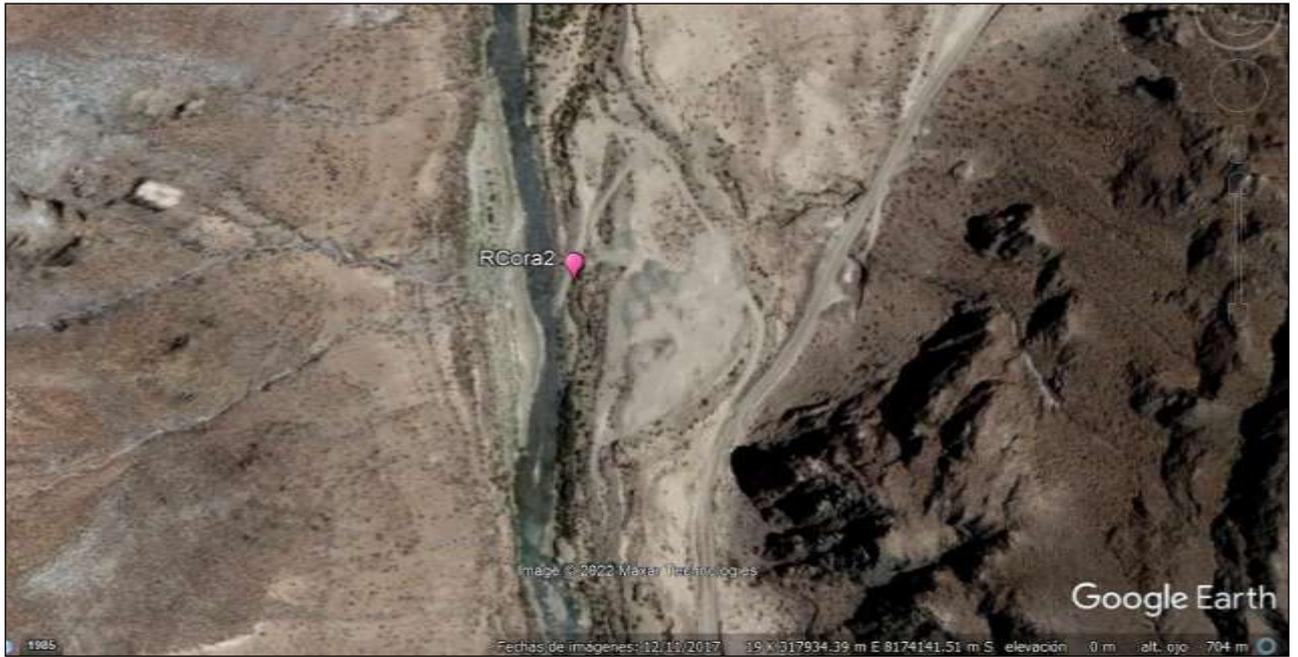


Figura 9
Río Tambo – Punto de monitoreo “RTamb10”

Departamento	Provincia	Distrito	Unidad Hidrográfica	Nombre del río	Código	Descripción	Coordenadas		Altitud
							Este	Norte	
Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque	Medio Tambo	Tambo	RTamb10	Río Tambo, antes de la confluencia con el río Ubinas	306686	8181838	2580



Foto: Johana Salazar

Figura 10
Río Tambo – Punto de monitoreo “RTamb3”

Departamento	Provincia	Distrito	Unidad Hidrográfica	Nombre del río	Código	Descripción	Coordenadas		Altitud
							Este	Norte	
Moquegua	General Sánchez Cerro	Matalaque	Medio Tambo	Tambo	RTamb3	Río Tambo, altura del poblado Chachagen	305994	8178651	2485



Foto: Johana Salazar

Figura 11
Río Tambo – Punto de monitoreo “RTamb5”

Departamento	Provincia	Distrito	Unidad Hidrográfica	Nombre del río	Código	Descripción	Coordenadas		Altitud
							Este	Norte	
Arequipa	Islay	Cocachacra	Medio Tambo	Tambo	RTamb5	Río Tambo sector de Quelgua y/o Carrizal	230326	8115618	342



Foto: Johana Salazar

Figura 12
Río Tambo – Punto de monitoreo “RTamb14”

Departamento	Provincia	Distrito	Unidad Hidrográfica	Nombre del río	Código	Descripción	Coordenadas		Altitud
							Este	Norte	
Arequipa	Islay	Cocachacra	Bajo Tambo	Tambo	RTamb14	Río Tambo Puente Santa Rosa	213563	8115274	147



Foto: Johana Salazar

Figura 13
Río Tambo – Punto de monitoreo “RTamb6”

Departamento	Provincia	Distrito	Unidad Hidrográfica	Nombre del río	Código	Descripción	Coordenadas		Altitud
							Este	Norte	
Arequipa	Islay	Cocachacra	Bajo Tambo	Tambo	RTamb6	Río Tambo aguas arriba de la bocatoma Ensenada Mejía Mollendo	209975	8112973	109



Foto: Johana Salazar

5. Resultados

5.1 Resultados de los Índices de Calidad de Agua

5.1.1 Resultado del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales - ICARHS

De acuerdo a los resultados del ICARHS, de los 8 puntos de monitoreo evaluados, el punto “RVizc1” calificó como “Excelente”. Asimismo, los puntos RCora2, RTamb10, RTamb3, RTamb5, RTamb14 y RTamb6 calificaron como “Malo” y el punto RTiti1 calificó como “Pésimo”.

En base a los 13 parámetros evaluados, el punto RVizc1 calificó como “Excelente” debido a que ningún parámetro superó el ECA, sin embargo, en el río RTiti1 calificado como “Pésimo” fueron 9 parámetros que superaron el ECA, los cuales fueron: pH, oxígeno, Aluminio Total, Arsénico Total, Boro Total, Cadmio Total, Cobre Total, Hierro Total, Manganeso Total y Plomo Total. En la Tabla 7, se muestra los resultados del ICARHS por cada punto de monitoreo. Ver mapas en las figuras 15 y 16.

Tabla 2

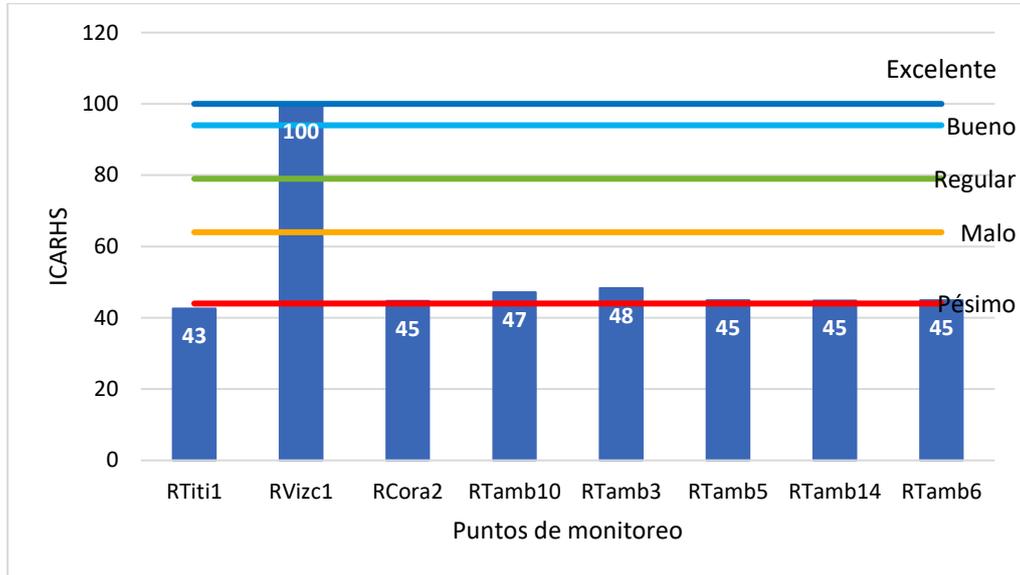
Cálculo del ICARHS

	Puntos de monitoreo							
	RTiti1	RVizc1	RCora2	RTamb10	RTamb3	RTamb5	RTamb14	RTamb6
Valor	43	100	45	47	48	45	45	45
Calificación	Pésimo	Excelente	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo

Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Resultado del ICARHS



Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Mapa de puntos de monitoreo con el resultado de la evaluación del ICARHS

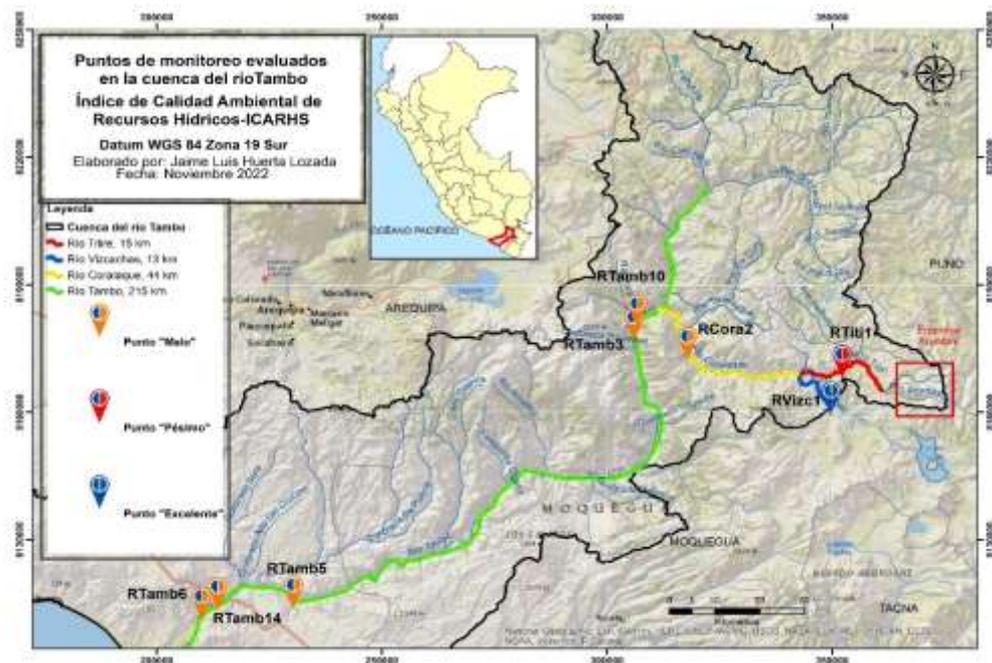
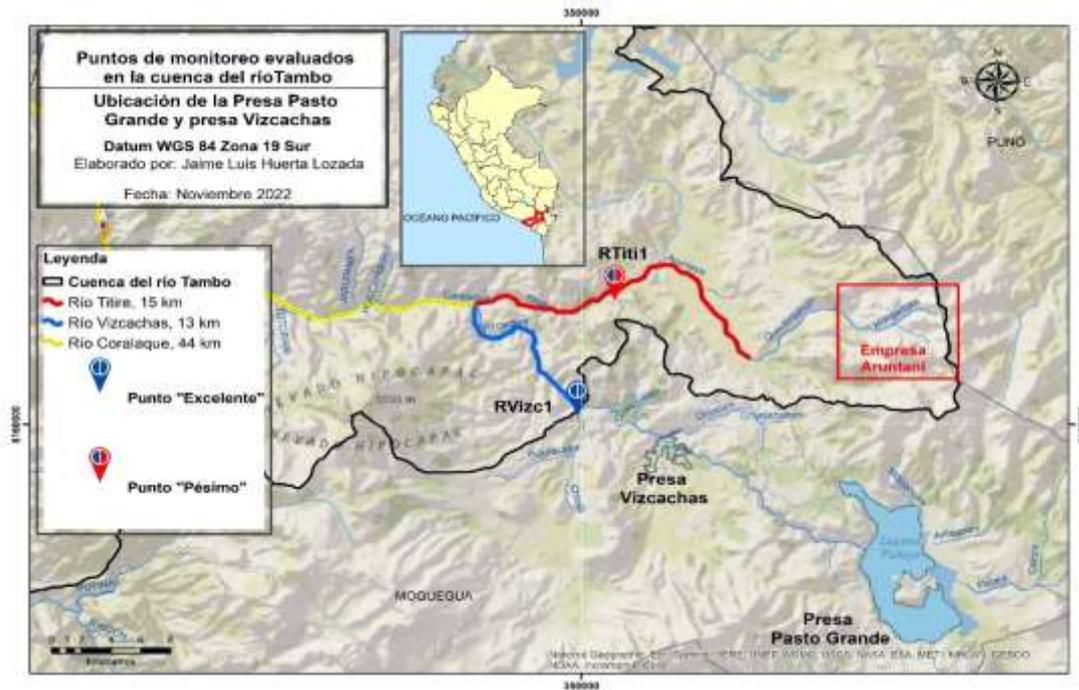


Figura 16

Mapa de ubicación de las presas Pasto Grande, Vizcachas y la unidad minera Tucari de la empresa Aruntani



5.1.2 Resultado del Índice de Calidad de Agua Universal - ICAU

De acuerdo a los resultados del índice ICAU, de los 8 puntos de monitoreo evaluados, el punto RTamb3 calificó como "Excelente", el punto RTiti1 calificó como "Media" y los 6 puntos restantes calificaron como "Buena".

Con respecto a los 12 parámetros evaluados, el arsénico presentó los subíndices más bajos en los 8 puntos de monitoreo, especialmente en los puntos RTiti1, RTamb5, RTamb14 y RTamb6. Ver mapa en la figura 17.

Tabla 3

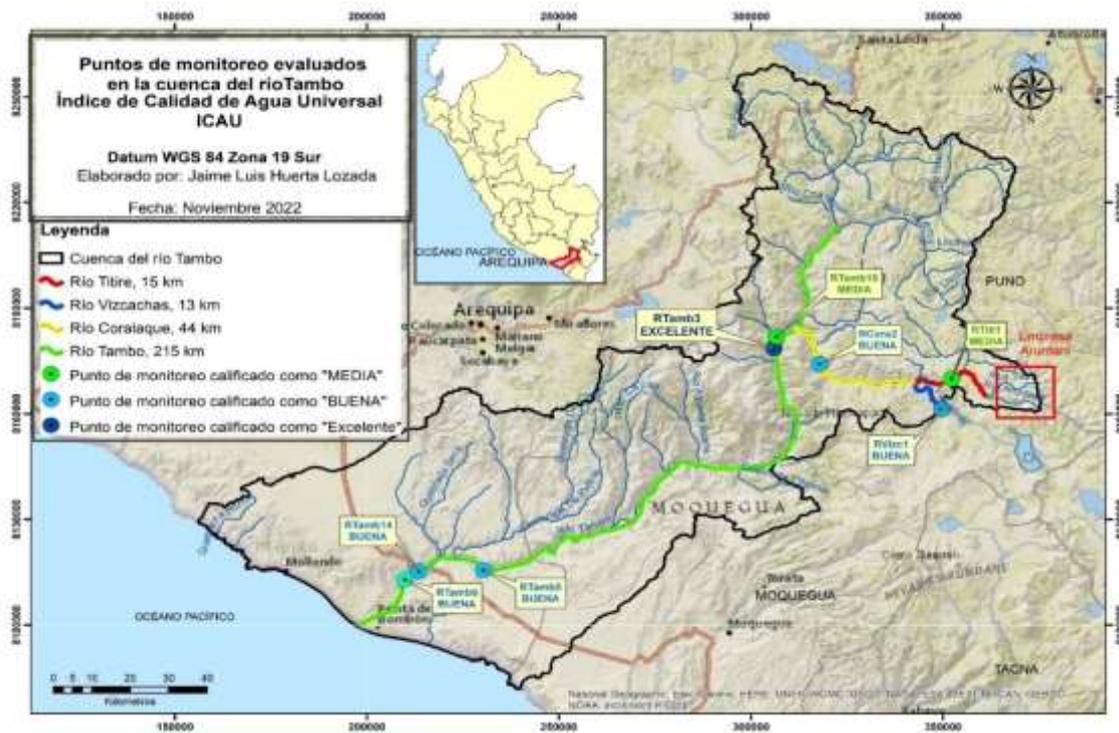
Cálculo del Índice de Calidad de Agua – Universal

	Puntos de monitoreo							
	RTiti1	RVizc1	RCora2	RTamb10	RTamb3	RTamb5	RTamb14	RTamb6
Valor	72	91	83	73	96	89	89	89
Calificación	Media	Buena	Buena	Buena	Excelente	Buena	Buena	Buena

Fuente: Elaboración propia

Figura 17

Mapa de puntos de monitoreo con el resultado de la evaluación del ICA Universal – ICAU



5.1.3 Resultado del Índice de Calidad de Agua – NSF

De acuerdo a los resultados del índice NSF, de los 8 puntos de monitoreo evaluados, los puntos RVizc1, RCora2 y RTamb10 calificaron como “Media”. Asimismo, los puntos RTiti1, RTamb3, RTamb5, RTamb14 y RTamb6 calificaron como “Mala”. Ver mapa en la figura 18.

Tabla 4

Cálculo del Índice de Calidad de Agua – NSF

	Puntos de monitoreo							
	RTiti1	RVizc1	RCora2	RTamb10	RTamb3	RTamb5	RTamb14	RTamb6
Valor	52	61	52	60	45	47	46	45
Calificación	Mala	Media	Media	Media	Mala	Mala	Mala	Mala

Fuente: Elaboración propia

Figura 18

Mapa de puntos de monitoreo con el resultado de la evaluación del ICA NSF



5.1.4 Resultado del Índice de Calidad de Agua IDAHO

De acuerdo a los resultados del índice IDAHO, los 8 puntos de monitoreo evaluados, calificaron como “Pobre”. Ver figura 19.

Tabla 5

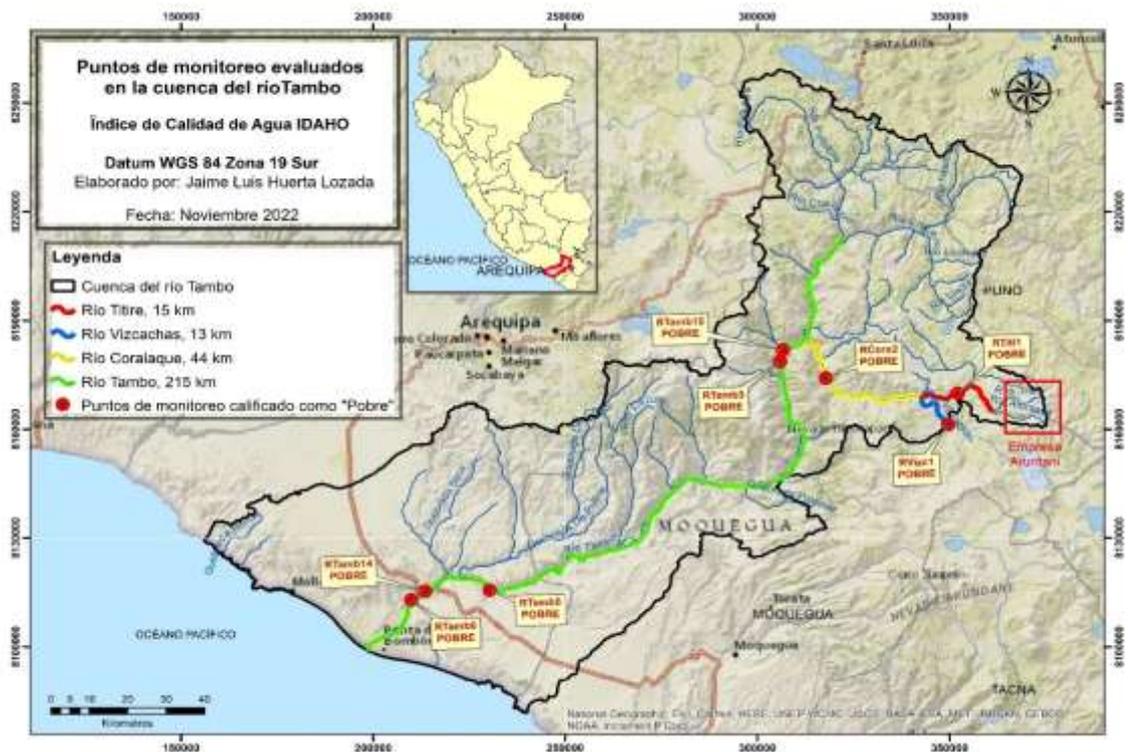
Cálculo del Índice de Calidad de Agua IDAHO

Puntos de monitoreo	
	RTiti1 RVizc1 RCora2 RTamb10 RTamb3 RTamb5 RTamb14 RTamb6
Valor	0.147 0.492 0.412 0.369 0.348 0.482 0.437 0.398
Calificación	Pobre Pobre Pobre Pobre Pobre Pobre Pobre Pobre

Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Mapa de puntos de monitoreo con el resultado de la evaluación del ICA IDAHO



6. Discusión

En la presente investigación, de los cuatro índices de calidad de agua seleccionados, el ICARHS es el índice que mejor describe el estado actual de la calidad de agua en cada punto de monitoreo en la cuenca del río Tambo. Al respecto en esta metodología se utilizaron 13 parámetros de los cuales 9 de los parámetros son metales. La importancia

de contar con la evaluación de metales dentro de los parámetros es fundamental debido a que éstos se encuentran ya sea de manera natural y antrópica a lo largo de toda la cuenca del río Tambo. Al respecto, en los monitoreos de calidad de agua realizados por la ANA a través del ALA Tambo Alto Tambo, evalúan en promedio 25 parámetros de los cuales se encuentran la evaluación de “metales totales” que incluye alrededor de 33 metales (ANA 2022). De acuerdo a los resultados de los 4 últimos monitoreos realizados, se evidencia la presencia de arsénico, boro, cadmio, manganeso, cobre y hierro superan el ECA para agua categoría 3 en puntos de monitoreo distribuidos a lo largo de toda la cuenca (ANA, 2022).

Asimismo, en el estudio realizado por García (2019), donde evaluó la contaminación del agua por metales pesados en las cuencas de los ríos Tambo, Quilca, Camaná y Ocoña, indica que la cuenca del río Tambo es la más afectada por presencia de la mayor contaminación en arsénico y boro al superar el ECA. Por otra parte, en el estudio de López (2018), indica que “la calidad del agua del río Tambo en la provincia de Islay, está siendo influenciada por la presencia de boro y arsénico, metales que afectan directamente la actividad agrícola ganadera, llegando a bioacumularse silenciosamente”. A su vez, Ortiz (2018) en el estudio realizado en muestras de sedimento y de camarón de río identificó presencia de arsénico cuyos niveles exceden los valores de la Guía Canadienses para Sedimentos y los valores de las normas de la Unión Europea y técnica brasileña para camarones. Sobre los estudios antes mencionados se evidencia la importancia de contar con metales como el arsénico y boro en los parámetros del índice de calidad de agua lo que nos permitirá tener un real resultado que describa el estado actual de la calidad de agua en la cuenca del río Tambo.

Con respecto a los resultados obtenidos con el índice NSF, se evidencia que entre el ICARHS y el NSF, no hay diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, este índice no evalúa los principales metales como son el arsénico y boro que son muy característicos en la cuenca del río Tambo. Por otra parte, sobre el estudio realizado por Alarcón (2019), indicó que de 7 índices de calidad de agua evaluados en el río Rimac, el índice NSF fue el que mejor resultado trajo para la cuenca debido a que los parámetros evaluados son relevantes y prioritarios porque se ajustan a las condiciones naturales de la cuenca del río Rimac. Asimismo, Chipana y Crisostomo (2021), realizan una

comparación entre ICARHS y el índice NSF en Comunidad Huisapata-Ocoruro-Espinar-Cusco, obteniendo como resultado que ambos índices son buenas opciones para evaluar la calidad de agua, siendo el índice NSF con menor costo para su evaluación. Asimismo, según el estudio realizado por Perez (2017), utilizó el índice NSF para determinar la calidad de agua en el río Moquegua por influencia de una planta de tratamiento, obteniendo como resultado que este índice permite hacer una clara diferencia de la afectación antes y después del punto de vertimiento. En el estudio realizado por Hernández, Nolasco y Salguero (2017), indican que el índice NSF sirvió para determinar la calidad de agua superficial en ríos sin embargo, este índice no contempla otros parámetros fisicoquímicos que permitan evaluar la aptitud de uso del agua con fines poblacionales y de recreación por lo que se debe contemplar hacer otro tipos de análisis. Por otra parte, Rojas (1991), utilizó este índice, pero adaptándolo a las características del río Cauca en Colombia, disminuyendo el número de parámetros y cambiando los pesos porcentuales de cada parámetro de acuerdo a un nivel de importancia.

Con respecto a los resultados del ICA IDAHO no se pudo diferenciar los resultados en cada punto de monitoreo, al calificarse todos los puntos como “pobre”, asimismo, solo abarca 5 parámetros de los cuales ninguno de ellos evalúa metales, por lo que su uso en la cuenca del río Tambo no se podría utilizar. Al respecto, estos resultados son similares al estudio realizado por Alarcón (2019), en el río Rímac donde evaluó 4 puntos de monitoreo obteniendo como único resultado el calificativo de “marginal” o pobre, por lo que no se puede diferenciar el estado real en cada punto evaluado.

Con respecto al índice ICAU, de los 12 parámetros evaluados, no se encuentra el boro, hierro, cobre, manganeso y aluminio, elementos presentes en las fuentes de agua de la cuenca Tambo y que deben ser evaluados, por lo que sus resultados no reflejarían la realidad de la calidad de agua de las fuentes de agua. Por lo tanto, este índice no podría aplicarse a la cuenca del río Tambo. Al respecto, según el estudio comparativo entre 7 índices de calidad de agua realizado por Alarcón (2019), el índice IDAHO, fue descartado porque solo 2 parámetros (arsénico y cadmio) fueron considerados de relevancia en la evaluación de la calidad de agua del río Rimac.

Finalmente con el objetivo de calcular de forma rápida y segura los índices IDAHO y NSF se utilizó el software ICATest v1.0. Al respecto este software también fue utilizado

por Fernández, et al (2003) al comparar 30 índices de calidad de agua, por Alarcon (2019) al comparar 7 índices de calidad de agua en el río Rimac, así como por Cruz (2022) con el uso del ÍCA-NSF en la laguna Piuray en Cusco.

7. Conclusiones

En la evaluación de la calidad del agua en los ríos Titire, Vizcachas, Coralaque y Tambo a través de ocho puntos de monitoreo, se obtuvieron los siguientes resultados: Según el índice ICARHS, el río Titire fue clasificado como "Pésimo", el río Vizcachas como "Excelente", mientras que los ríos Coralaque y Tambo recibieron la calificación de "Malo". En relación al índice ICAU, el río Titire obtuvo una calificación de "Media", los ríos Vizcachas, Coralaque y Tambo fueron clasificados como "Buena", y el punto RTamb3 del río Tambo alcanzó la categoría de "Excelente". Por otro lado, según el índice NSF, los ríos Titire y Tambo fueron catalogados como "Mala calidad", mientras que los ríos Vizcachas, Coralaque y el punto RTamb10 del río Tambo recibieron una clasificación de "Calidad Media". Finalmente, de acuerdo con el índice IDAHO, la calidad del agua en los ríos Titire, Vizcachas, Coralaque y Tambo fue considerada "Pobre".

Al evaluar la confiabilidad de los métodos elegidos para identificar el óptimo Índice de Calidad de Agua (ICA) en la cuenca del río Tambo, se concluyó que el índice ICARHS resultó ser el más adecuado para describir la calidad del agua en esta área. En contraste, los índices NSF, IDAHO e ICAU no resultaron aplicables, ya que las particularidades de la cuenca demandan la evaluación de metales como parte integral de sus parámetros, lo cual no es contemplado por dichos índices.

8. Recomendaciones

1. Se recomienda para la elección de un determinado ICA, hacer un diagnóstico preliminar de las características naturales del suelo y del agua, así como de las actividades antrópicas que se desarrollan en el ámbito del punto de monitoreo que se quiere evaluar. Por ejemplo, en una zona donde se tenga antecedentes que existe (ya sea de manera natural y/o antrópica) elevada presencia de metales, la elección del ICARHS es una buena opción, sin embargo, no se podría utilizar el índice IDAHO porque en sus parámetros no incluye la evaluación de ellos y los resultados de este índice mostraría un gran sesgo y por

lo tanto un error al determinar la calidad del agua del punto evaluado. Por otra parte, en fuentes de agua asociados al uso poblacional sin presencia de metales, el índice IDAHO podría ser elegido debido a que sus parámetros incluyen Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Coliformes Termotolerantes y Fosfatos.

2. Se recomienda evaluar los siguientes factores antes de elegir un ICA: Actividades antrópicas que afectan directa e indirectamente al agua (unidades mineras, valles agrícolas, puntos de vertimiento de agua residual doméstica o industrial, etc), presencia de infraestructura hidráulica mayor y menor (represas, bocatomas, etc), presencia de humedales (lagos, lagunas, bodefales, etc), Áreas Naturales Protegidas y su zona de amortiguamiento, normativa vigente (como el DECRETO SUPREMO N°004-2017-MINAM, sobre Estándares de Calidad Ambiental para Agua), línea base de los resultados de los monitoreos de calidad de agua realizados por la ANA, entre otros.
3. Se recomienda a la ANA no dejar de realizar monitoreos al menos 2 veces al año para evitar generar espacios o intervalos muy grandes entre monitoreo lo cual puede generar errores en el resultado final en cada punto de monitoreo evaluado.
4. Se recomienda a la ANA establecer un ICARHS específico para cada fuente de agua natural, lo que permitirá hacer una evaluación más precisa y detallada del estado situacional de la calidad del agua, debido a que cada fuente tiene características particulares y no se podría generalizar una sola metodología para todas las fuentes de agua del Perú.

9. Bibliografía

Autoridad Nacional del Agua. (2018). Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales.

Alarcón, J. (2019). Aplicación de métodos de Índices de calidad de Agua (ICA) en el río Rímac. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Geógrafo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Autoridad Nacional del Agua. (2019). Estudio hidrológico de la unidad hidrográfica de Tambo. Dirección de Calidad y Evaluación de los Recursos Hídricos. Volumen 1.

- Autoridad Nacional del Agua. (2020). Diagnóstico de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales en la Unidad Hidrográfica Quilca-Vitor-Chili.
- Autoridad Nacional del Agua. (2020). Resultados del XI monitoreo participativo de calidad de agua superficial de la cuenca tambo, estiaje 2020. Informe Técnico N° 027-2020-ANA-AAA.CO-ALA.TAT/SMMA.
- Autoridad Nacional del Agua. (2021). Resultados del XII Monitoreo de la Calidad de Agua Superficial de la Cuenca Tambo, avenida 2021. Informe Técnico N° 017-2021-ANA-AAA.CO-ALA.TAT/SMMA.
- Autoridad Nacional del Agua. (2021). Resultados del monitoreo de calidad de agua superficial ejecutado durante junio y julio del 2021; en el marco de las acciones de vigilancia y control. Informe Técnico N° 0043-2021-ANA-AAA.CO-ALA.TAT/SMMA
- Autoridad Nacional del Agua. (2022). Resultados del monitoreo de calidad de agua superficial dentro de las acciones de vigilancia y control en las U.H.M. Coralaque, Medio Alto Tambo, Medio Tambo y Bajo Tambo. Informe Técnico N° 0031-2022-ANA-AAA.CO-ALA.TAT/SMMA.
- Boyacioglu, H. (2007). Development of a water quality index based on a European classification scheme. *Water SA*, vol. 33, pp. 101-106, 2007.
- Brandt, D. (2002). *River Physiochemical Index*. Idaho Department Of Environmental Quality, 100p.
- Chipana, K y Crisostomo, Z. (2021). Comparación entre los Índices ICARHS e ICA-NSF en la calidad de agua para consumo humano en la Comunidad Huisapata-Ocoruro-Espinar-Cusco 2021. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Ambiental. Universidad Cesar Vallejo.
- Cruz, L. (2022). Evaluación del Efecto del Cambio Climático en el Recurso Hídrico de la Laguna de Piuray en la Microcuenca de Piuray (Chincheros, Cusco). Tesis presentada para optar al Grado Académico de Doctor en Biología Ambiental. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

- Fernández, N., Ramírez, A., Solano, F. (2003). Índices fisicoquímicos de Calidad del agua, un estudio comparativo., Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible, Agua 2003, Universidad del Valle Cinara,
- Fernández, N., Ramos, G., y Solano, F. (2004). ICATEST V 1.0. Una herramienta informativa Informática para el análisis y valoración de la calidad del Agua. Bistua (2).
- Fernández, P. y Solano, O. (2005). Índices de calidad y de contaminación del agua. Pamplona: Universidad de Pamplona, 2005. 142 p.
- Flores, S. y Vela, N. (2021). Índice de la calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS) de la unidad hidrográfica bajo Marañón, periodo 2014-2020. Tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Científica del Perú.
- Hernández, Nolasco y Salguero. (2017). Determinación del Índice de Calidad del Agua NSF y Modelación del Cromo Hexavalente en la Parte Alta del Río Suquiapa, Santa Ana, El Salvador. Tesis presentada para optar el título de Ingeniero Químico. Universidad del Salvador.
- García, B. (2019). Contaminación del agua por metales pesados As, B, Cu, Pb, Cd y CN- en las cuencas de los Ríos Tambo, Quilca, Camaná y Ocoña de la región Arequipa. Tesis presentada para optar el grado académico de Doctora en Ciencias y Tecnologías Medioambientales. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- INFOSTAT. (2008). InfoStat, versión 2008. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina
- Krenkel, P. y Novotny, V. (1980). Water quality management. Academic Press. 671 P.
- López, S. (2018) Evaluación de la Calidad de Agua respecto a Metales Pesados presentes en el río Tambo provincia de Islay 2016 – 2018. Tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Laura, J. (2019). Gestión de la calidad del agua del río Chili mediante el empleo de índices físico químicos de calidad ambiental, Arequipa. Tesis presentada para optar el título

Grado Académico de Maestro en Ingeniería Industrial, con mención en Gestión de Producción. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Rojas O. 1991. Índices de Calidad del agua en Fuente de Captación; en Seminario Internacional sobre calidad del agua para consumo, Cali.

Ortiz, N. (2018). Evaluación de elementos ecotóxicos en sedimento, agua y *Cryphiops caementarius* (camarón) en el río Tambo. Tesis presentada para optar el Título Profesional de Licenciado en Química. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Ott, W. (1978). Environmental Indices, Theory And Practice, AA Science, Ann Arbor, Michigan.

Perez, J. (2017). Determinación del Índice de Calidad del Agua del Río Moquegua por Influencia del Vertimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Omo, Durante El Periodo 2014 2015. Tesis presentada para optar el Título Profesional de Ingeniería Ambiental. Licenciado en Química. Universidad José Carlos Mariátegui.

Salas, N. y Segura, W. (2022). Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales en la Minería Legal e Ilegal, Ayacucho-Arequipa, 2017 – 2021. Tesis presentada para optar el Título Profesional de Ingeniería Ambiental. Universidad Cesar Vallejo.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.

Torres, P., Hernán, C. y Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 8, No. 15 especial, pp. 79-94 - ISSN 1692-3324 - julio-diciembre de 2009/150 p. Medellín, Colombia.

Financiamiento de la investigación

Con recursos propios.

Declaración de intereses

Declaro no tener ningún conflicto de intereses, que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas.

Declaración de consentimiento informado

El estudio se realizó respetando el Código de ética y buenas prácticas editoriales de publicación.

Derechos de uso

Copyright© 2024 por **Jaime Luis Huerta Lozada, Johana Verónica Salazar Castillo**



Este texto está protegido por la [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que cumpla la condición de atribución: usted debe reconocer el crédito de una obra de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace.