

## **Determinación de la pérdida de la calidad de un río urbano en Cusco: Caso Saphy**

**Juan Eduardo Gil-Mora**

[mundoandino2005@yahoo.es](mailto:mundoandino2005@yahoo.es)

<https://orcid.org/0000-0002-3191-9197>

Blgo. M. Sc. En Ciencia y Tecnología Ambiental;  
Docente Escuela de Posgrado Universidad Andina del Cusco;  
Maestrías de Seguridad Industrial y Medio Ambiente. Cusco, Perú

**Álvaro Horacio Flores Boza**

[alvarohoracio25@hotmail.com](mailto:alvarohoracio25@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-6504-1896>

Ing. Civil, docente en la Escuela de Posgrado;  
maestrías: Ingeniería Civil con mención en hidráulica y ambiental.  
Cusco, Perú

**Kely Jhoset Ochoa Ramos**

<https://orcid.org/0000-0002-1925-0638>

Blgo. Laboratorio SEDA Cusco.

**Natali Anadeida Valencia Oviedo**

<https://orcid.org/0000-0001-5909-8848>

Qco. Laboratorio SEDA Cusco

### **RESUMEN**

La calidad del agua son las características químicas, físicas y biológicas, que hacen apto para distintos usos: consumo humano, agricultura, ganadería, industria, generación de energía, recreación, mantenimiento de las funciones ecosistémicas. El objetivo de la investigación fue determinar la pérdida de calidad del agua en un río urbano en la ciudad del Cusco: el río Saphy que cruza la ciudad por el centro histórico, utilizando parámetros físico-químicos y biológico e identificar las fuentes de deterioro. Estos parámetros se determinaron por métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual (Standar Methods for the Examination of Water & Waste Water). Se tomaron muestras para el análisis en laboratorio, siguiendo la metodología de la Autoridad Nacional del Agua. Los resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental-agua (ECA-agua) aprobados por el Ministerio del Ambiente; se determinó que el oxígeno

disuelto está por debajo de lo óptimo y que la demanda biológica de oxígeno supera al ECA-agua en 8,6 veces; la turbidez y los coliformes termotolerantes muestran concentraciones altas respecto del ECA-agua; los ríos se alcalinizan y las principales fuentes de deterioro son: la actividad agrícola, pecuaria, aguas residuales, residuos sólidos y escombros vertidos directamente al río.

**Palabras clave:** contaminación; coliformes; eca-agua; indicador; micro-cuenca

## **Determination of the loss of quality of an urban river in Cusco: Saphy Case**

### **ABSTRACT**

Water quality is the chemical, physical and biological characteristics that make it suitable for different uses: human consumption, agriculture, livestock, industry, power generation, recreation, maintenance of ecosystem functions. The objective of the research was to determine the loss of water quality in an urban river in the city of Cusco: The Saphy River that crosses the city through the historic center, using physical-chemical and biological parameters and to identify the sources of deterioration. These parameters were determined by standardized methods for the analysis of drinking and residual water (Standard Methods for the Examination of Water & Waste Water). Samples were taken for laboratory analysis, following the methodology of the National Water Authority. The results were compared with the Environmental Quality Standards-water (ECA-water) approved by the Ministry of the Environment; dissolved oxygen was found to be suboptimal and biological oxygen demand exceeds ECA-water by 8.6 times; turbidity and thermotolerant coliforms show high concentrations compared to ECA-water; the rivers become alkaline and the main sources of deterioration are: agricultural activity, livestock, wastewater, solid waste and debris dumped directly into the river.

**Keywords:** coliforms; ECA-water; indicator; micro-basin; pollution

Artículo recibido: 15 enero 2022

Aceptado para publicación: 08 febrero 2022

Correspondencia: [mundoandino2005@yahoo.es](mailto:mundoandino2005@yahoo.es)

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los índices de calidad del agua se constituyen en una herramienta funcional en la planificación de las cuencas hidrográficas en materia de calidad; pueden ser utilizados en la clasificación de áreas y usos del agua, en el desarrollo sustentable, en la política ambiental, en la gestión ambiental, en el manejo del recurso y en el desarrollo de la investigación científica. Los países de Suramérica han adaptado estos índices de calidad a las condiciones ambientales de sus ecosistemas para la valoración y evaluación de la calidad del agua superficial (Orozco *et al.*, 2005).

De conformidad con Damo e Icka (2013), los índices físico-químicos se basan en una combinación de parámetros físico-químicos que dan una información de la naturaleza de las características químicas del agua y sus propiedades físicas, proporcionando una visión global de la calidad del agua de los ríos, aportando información de su influencia en la vida acuática. El número y tipo de parámetros varía en los diferentes índices existentes y tienen un grado de participación según la importancia que se concede a los mismos; para obtener una visión global, se utilizan parámetros como oxígeno disuelto, nitratos, amonio, conductividad eléctrica, pH, demanda biológica de oxígeno, fósforo y temperatura.

Los índices pueden ser utilizados para mejorar, aumentar y difundir la información sobre la calidad superficial del agua. De acuerdo con Ott (1978), los usos de los índices son:

- Proveer información a personas que toman decisiones sobre las prioridades del recurso.
- Comparar el estado del recurso en diferentes áreas geográficas.
- Determinar si se está sobrepasando la normatividad ambiental y las políticas existentes.
- Informar al público con el fin de concientizar y promover la educación ambiental.
- Para Investigación científica.

Actualmente se considera al río como un recurso esencial que requiere la máxima atención de los sectores públicos por ser indispensable para la preservación de la vida y encontrarse expuesta al deterioro, en ocasiones irreversible, generado por un uso irresponsable e intensivo del recurso; a este respecto, Valdés *et al.*, (2012) comentan que, en la valoración y evaluación de la calidad del agua, se han empleado diversas metodologías entre las que se incluyen la comparación de las variables físicas, químicas y bacteriológicas con la normatividad vigente.

### 1.1. Indicadores Físico-Químicos

La calidad del agua es un término variable en función del uso concreto que se haga del recurso. Para los usos más importantes y comunes del agua existen una serie de requisitos recogidos en normas específicas basados tradicionalmente en las concentraciones de diversos parámetros físico-químicos y biológicos:

- a. **Físicos:** Turbidez, conductividad eléctrica, temperatura.
- b. **Químicos:** pH, oxígeno disuelto (OD), porcentaje de saturación de oxígeno, sólidos en suspensión, nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO).
- c. **Biológicos:** Bacterianos (presencia de bacterias coliformes, indicadoras de contaminación fecal).

La calidad del agua se refiere a las condiciones en el que se encuentra el agua respecto a las características físicas, químicas y biológicas en su estado natural o al estar alteradas por el ser humano (Monroy 2011); los problemas derivados de la contaminación de cuerpos de agua, como: la reducción del suministro de agua dulce, riesgos en la salud, la inutilización del agua para diversos usos, el impacto negativo sobre la vida acuática, son algunos de los efectos asociados a la calidad del agua (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO, 2013).

En Perú, la calidad del agua está regulada por el Ministerio del Ambiente que aprobó mediante Decreto Supremo N° 004- MINAM, los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA-agua), los cuales se fijan en función a las categorías que reciben los cuerpos de agua como se menciona en la ley de recursos Hídricos (Ley N° 29338). De acuerdo al MINAM (2016), el ECA-agua es la medida que establece el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físico químicos o biológicos, presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni del ambiente. La calidad se determina comparando las características de una muestra de agua con una línea base, o leyes y estándares determinados por norma para cada uso. Esto conduce a conocer si el agua examinada es segura o no para ese determinado fin. Por ejemplo, un curso de agua puede tener calidad suficiente para uso recreativo, pero no tenerla para consumo humano. Esto quiere decir que la calidad depende del uso que se le quiera dar al agua.

En la mayoría de países en desarrollo, el riesgo microbiológico es bastante marcado

principalmente asociado a un inadecuado saneamiento, lo que se ratifica en la Agenda 21 de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo que afirma que aproximadamente 80 % de todas las enfermedades y más de una tercera parte de las defunciones en estos países tienen por causa el consumo de agua contaminada y hasta una décima parte del tiempo productivo de las personas se dedica a enfermedades relacionadas con agua (CEPIS, 2002)

De otro lado, el deterioro del recurso hídrico también está asociado principalmente con vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales y de producción agrícola y ganadera y actividades como transporte terrestre, fluvial y marítimo de sustancias peligrosas o petróleo, aguas de extracción minera y residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios o directamente en éstas (IDEAM, 2005).

Según Fernández y Solano, 2005, los resultados de un monitoreo deben permitir resolver diferentes tipos de conflictos como el uso del agua y la integridad ecológica de los sistemas acuáticos, los cuales involucran aspectos socioeconómicos, por lo que los índices de calidad del agua son una herramienta importante, pues su cálculo involucra más de una variable, de tal manera que el uso correcto de estos indicadores permite utilizarlos para la evaluación de los programas de gestión de recursos hídricos.

La Comunidad Europea desarrolló el índice universal de la calidad del agua (UWQI), utilizado para evaluar la calidad del agua superficial como fuente de agua potable. Este indicador se basa en doce variables: cadmio, cianuro, mercurio, selenio, arsénico, fluoruro, nitratos, OD, DBO<sub>5</sub>, fósforo total, pH y coliformes totales (Boyacioglu, 2007). La metodología Amoeba (A General Method of Ecological and Biological Assessment), desarrollada por los Países Bajos, utiliza parámetros físico-químicos y biológicos que permiten la valoración ecológica y biológica de los sistemas acuáticos. Su desarrollo estuvo a cargo del Ministerio Holandés de Transporte, Obras Públicas y Manejo del Recurso Hídrico teniendo en cuenta la producción y rendimiento agrícola, la diversidad sustentable de especies y la normativa sustentable (Fernández y Solano, 2005).

Para el caso latinoamericano, el desarrollo y aplicación de estos índices se ha dado con más auge en México, desarrollando diversos índices. El índice INDIC-SEDUE fue el primero en aplicarse en México, en Jalisco y tuvo un uso común en la antigua Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en el Departamento de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental de la Subdelegación de Ecología de la Delegación SEDUE-

Jalisco (Montoya, *et al.*, 1997).

En el Perú, se han aplicado dos indicadores: el ICA-NSF y un modelo desarrollado en Cuba por García, Beato y Gutiérrez, en el cual se considera, además de los parámetros del ICA-NSF, la conductividad eléctrica, cloruros y el nitrógeno amoniacal (OEA, 2004). La selección de parámetros o variables depende en gran medida de los objetivos del estudio, así como el uso que se le ha de dar a los resultados.

Walski y Parker (1974) utilizan las variables oxígeno disuelto (OD), temperatura, coliformes, pH, Total de Sólidos en Suspensión (TSS), turbidez, transparencia, nitratos, fosfatos, grasas, color y olor, mediante las cuales se puede evaluar las características organolépticas, efecto sobre la vida acuática y la salud humana.

En Colombia de acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2010), el uso de parámetros fisicoquímicos es actividad rutinaria. Sin embargo, no ha sido así el cálculo de índices de calidad de agua, a pesar de las recomendaciones en la legislación y de los desarrollos de formulaciones propias como las de Ramírez *et al.*, (1997, 1999, 2005).

De otro lado, en el contexto del empleo de los parámetros físico-químicos y biológicos, es pertinente considerar la contaminación del agua; de conformidad a la Carta del agua (Consejo de Europa, 1968), la contaminación del agua es la modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, industria, agricultura, pesca y actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural. Las fuentes de contaminación, denominadas efluentes contaminantes que utilizan como insumo el agua, y presentan elementos y sustancias con característica físicas, químicas y bacteriológica que afectan las condiciones del cuerpo receptor o componente ambiental donde son vertidos pueden ser:

- Vertimiento de aguas residuales domiciliarias o servidas a ríos y lagos.
- Vertimiento de residuos sólidos y escombros en las orillas de ríos y lagos.
- Actividades informales y clandestinas en las orillas de los ríos.
- Los efluentes líquidos provenientes de las distintas actividades de los sectores productivos (labores de excavación, planta de tratamiento de aguas residuales, derrames de aceites, productos químicos como fertilizantes agrícolas y plaguicidas).

Existen actualmente, diversos indicadores de contaminación del agua; según Samboni *et al.*, (2011), fueron desarrollados a partir de estudios fisicoquímicos, microbiológicos y limnológicos realizados en la industria petrolera para condiciones de ríos de Colombia.

Utilizan las variables de DBO<sub>5</sub>, coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno: las dos primeras reflejan fuentes diversas de contaminación orgánica y la tercera expresa la respuesta ambiental del cuerpo a este tipo de polución.

Actualmente, los cuerpos de agua superficiales, en su gran mayoría, presentan una alteración en su calidad misma (Thi, 2011; Pedraza, 2016) por todas las descargas que reciben de las actividades domésticas e industriales, que influyen de una manera en la salud humana y en aspectos socioeconómicos de las poblaciones adyacentes (Flores, 2013). Sin embargo, una de las dificultades en la planificación de los cuerpos de agua en las cuencas ha sido la poca aplicabilidad de los índices de calidad del agua en los procesos de toma de decisiones (Damo e Icka, 2013).

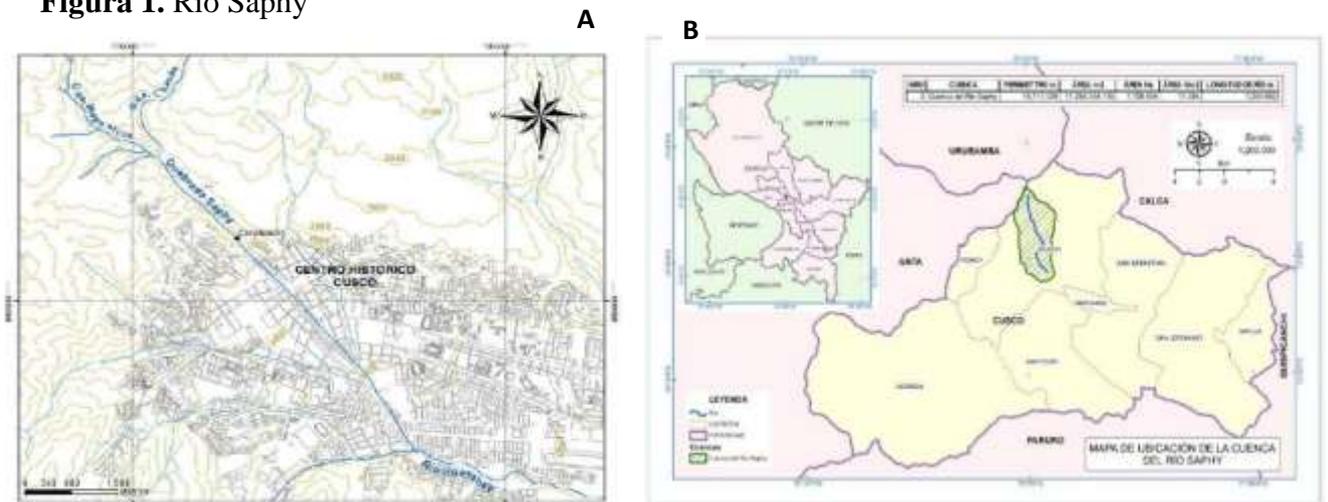
Una de las actividades más importantes para la gestión del recurso hídrico es el monitoreo periódico de los cursos de agua. Esta actividad permite la detección temprana de cambios en la calidad del recurso; igualmente, la comunicación de los resultados implica una retroalimentación, y permite que la información recopilada sea utilizada en las decisiones de gestión (Burt *et al.*, 2014).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Ámbito o Lugar de Estudio

El ámbito de estudio se circunscribe a una microcuenca de importancia en el ámbito urbano de la ciudad del Cusco: La micro cuenca del río Saphy que cruza el centro histórico de la ciudad y discurre de noroeste a suroeste; esta micro cuenca se halla ubicada al noroeste de la ciudad y resulta de la confluencia de los ríos Chacán y Muyu orcco, tal como lo muestra la Figura 1 que evidencia la ubicación del curso de agua estudiado.

**Figura 1.** Río Saphy



Fuente. Elaborado en base a información cartográfica, 2021

Las estaciones de muestreo fueron elegidas de acuerdo a Rodríguez *et al.*, (1997) y previa observación considerando los cambios en el ecosistema hídrico (OEA, 2004), cambios de pendiente, unión con afluentes, descargas de aguas residuales, fuentes puntuales y no puntuales de contaminación, contexto hidrológico, uso del recurso, accesibilidad física, investigación sinóptica (Rickert, 1993 y Alexander *et al.*, 2001), temporalidad (Tyson *et al.*, 1989). Las muestras fueron tomadas en dos temporadas, la época de precipitación (diciembre-marzo) y la temporada de secas (abril-octubre).

## 2.2. Toma de Muestras In Situ

Algunos parámetros fueron medidos “in situ” utilizando un equipo Hach HQ 40d multiparametros. Se tomaron las muestras en cada estación de muestreo, colocando la sonda para medir los parámetros: temperatura, pH y oxígeno disuelto como porcentaje de saturación; en el caso del oxígeno disuelto, se tomaron las muestras en frascos winkler y se fijaron para determinar la concentración en laboratorio siguiendo la metodología de Winkler modificado y las otras variables han sido analizadas en el laboratorio de SEDA Cusco. Para obtener el valor de la DBO<sub>5</sub>, la muestra colectada en campo, fue fijada a efecto de mantener el oxígeno disuelto y luego incubado en laboratorio.

## 2.3. Análisis en Laboratorio

Los parámetros fisicoquímicos y bacteriológico se determinaron por los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, descritos en Standar Methods for the Examination of Water & Waste Water (American Public Health Association, 2017). En cada estación de muestreo se tomó una muestra de agua para análisis posterior en el laboratorio, siguiendo la metodología de ANA (2016). Los parámetros determinados en laboratorio, así como la metodología utilizada, se muestran en las tablas 1 y 2.

**Tabla 1.** Parámetros analizados en campo

Parámetro	Unidad	Método
pH		Equipo multiparámetro
Temperatura	°C	Equipo multiparámetro
Conductividad eléctrica	uS/cm	Equipo multiparámetro

**Tabla 2.** Parámetros analizados en laboratorio

Parámetro	Unidad	Método
Fosfatos	mg/L	Método Rápido HACH 490
Nitratos	mg/L	Método Rápido HACH 355
Sólidos disueltos totales	mg/L	Método estándar 23nd edition 2017 2540-C
Turbidez	NTU	Lectura directa
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	Método estándar 23nd edition 2017 4500-O C
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	Método estándar 23nd edition 2017 5210-B
Coliformes totales	NMP/ 100 mL	Método estándar 23nd edition 2017 9221-B
Coliformes termotolerantes	NMP/ 100 mL	Método estándar 23nd edition 2017 9221-E

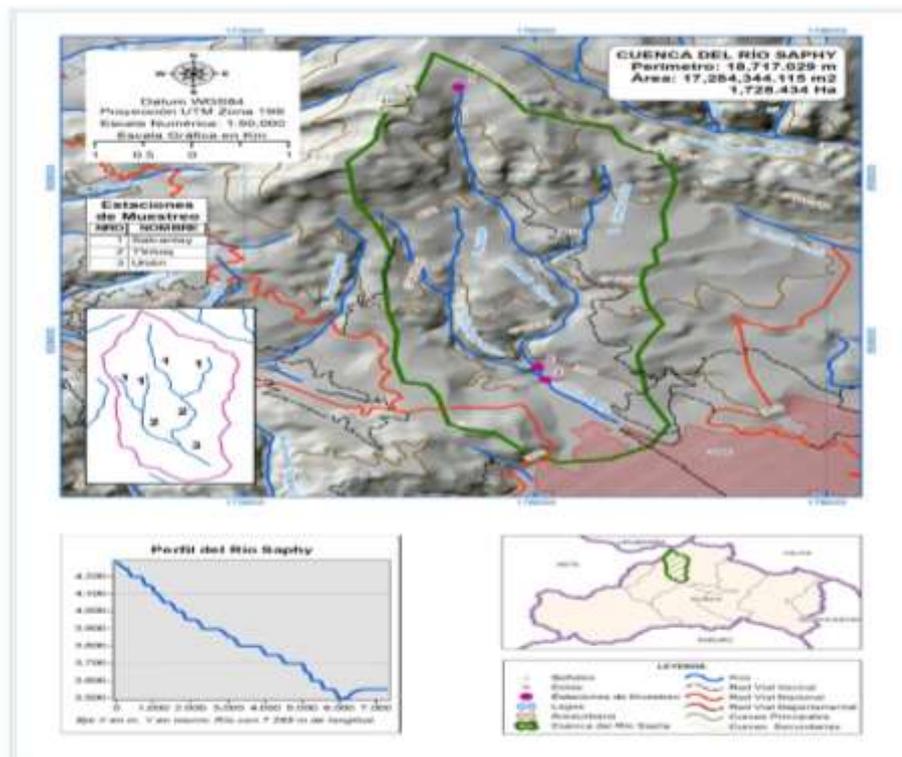
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1. Estaciones de Muestreo y Perfil Longitudinal del Río Saphy

La microcuenca del río Saphy se inicia en las alturas del Cerro Salkantay sobre los 4800 m de altitud, el curso de agua evaluado toma el nombre de Chacan y discurre pendiente abajo por más de siete Km hasta juntar sus aguas con las del riacho “Muyu Orqo” en la localidad denominada “T’inkoq” a partir de esta unión se denomina como río Saphy.

**Figura 2.** Río Saphy, estaciones de muestreo y perfil longitudinal



Fuente. Elaborado en base a información cartográfica, 2021

La Figura 2 evidencia que el río Saphy en sus orígenes, específicamente en los seis primeros Km de recorrido muestra una fuerte pendiente; por lo tanto, una capacidad erosiva alta; aunque es de manifestar que existen pequeñas zonas con pendiente suave.

### 3.1.2. Evaluación de los Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos en el río Saphy

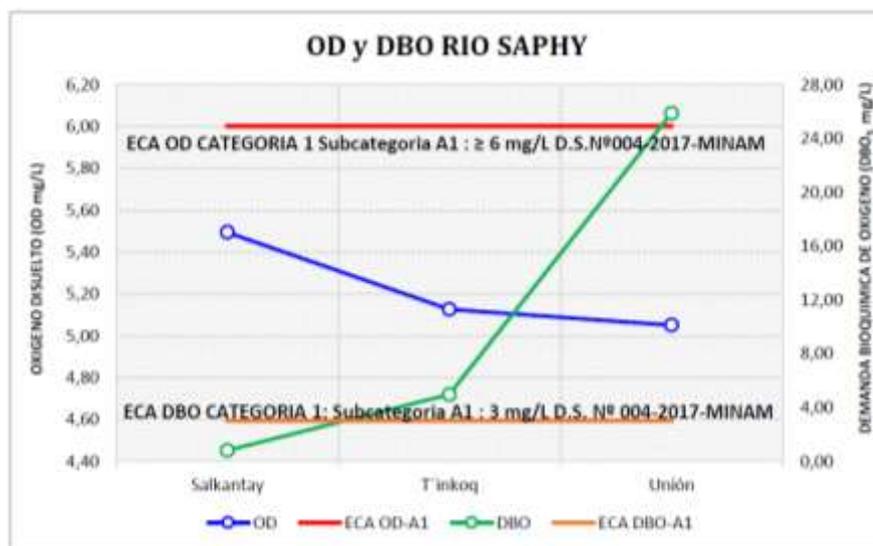
**Tabla 3.** Indicadores físico-químicos promedio para el río Saphy

Estación de muestreo	Oxígeno Disuelto (mg/L)	DBO (mg/L)	Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	Temperatura (°C)	pH	Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
Salkantay	5,49	0,80	6,67E+01	8,73	7,61	265,33	3,14	0,64	0,54
T'inkoq	5,13	4,97	8,59E+02	11,60	7,85	1577,33	5,45	0,86	0,48
Union	5,05	25,87	1,23E+06	11,77	8,12	1178,67	28,70	0,74	1,13

### 3.1.3. Valores Promedio de Indicadores Físico-Químicos y Microbiológico para el río Saphy

Como suele ocurrir cuando un curso de agua es afectado por contaminación orgánica, el OD disminuye y la DBO se incrementa a lo largo del curso del río; no obstante, la concentración del OD se mantiene relativamente alta, en razón a la pendiente del río y por que existen construcción de infraestructura denominada “rompe presión” que incluye saltos de agua, que posibilita la reoxigenación.

**Figura 3.** Río Saphy, concentraciones promedio de OD y DBO comparados con los respectivos ECA-Agua



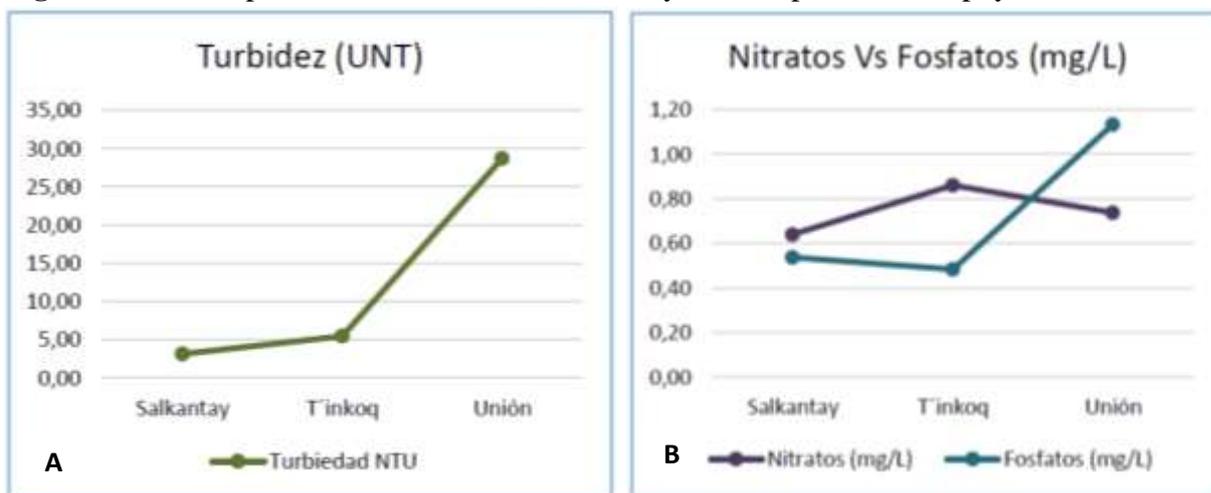
Fuente. Elaborado en base a información de la Tabla 3

Cuando se efectúa la comparación de los valores encontrados en estos dos indicadores con los ECA-OD y ECA-DBO, respectivamente, se observa que el OD está por debajo de lo óptimo y la DBO, supera al ECA establecido en más de 8,6 veces.

Lo anterior implica una pérdida de la calidad del agua por contaminación de aguas residuales domésticas; sustancialmente provenientes del afluente Muyu Orcco que recoge dichas aguas de los asentamientos humanos que desaguan directamente a los ríos Saphy y Muyu Orcco. A su vez, estas concentraciones de DBO registradas en la microcuenca, asienten inferir, que los vertimientos de aguas residuales son altos. Por consiguiente, la magnitud de los efectos y/o impactos son severos en el cuerpo receptor.

Es pertinente señalar que la disminución de OD es un indicador de contaminación que está en función de la presencia de materia orgánica oxidable, de organismos y de gérmenes aerobios, existencias de grasas, de hidrocarburos, de detergentes, etc.

**Figura 4.** Valores promedio de turbiedad, fosfatos y nitratos para el río Saphy



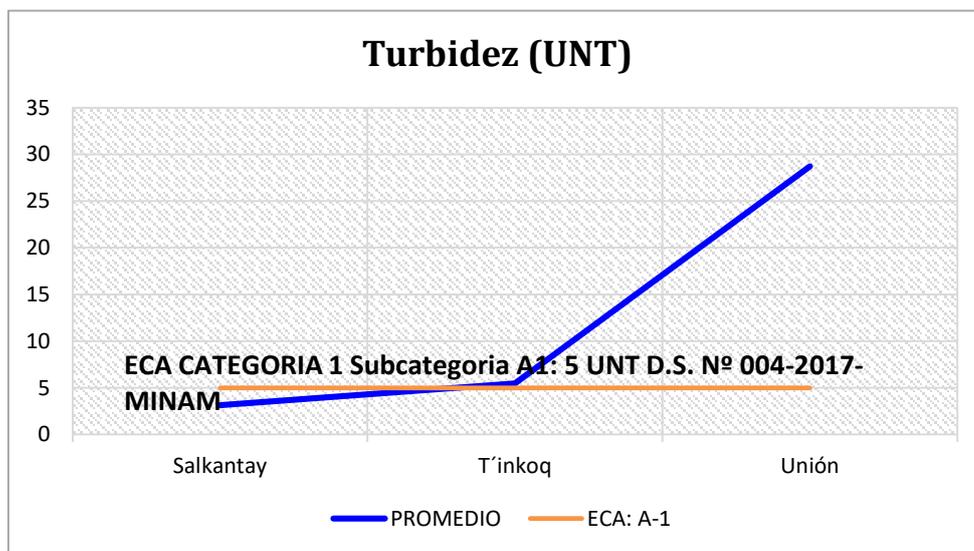
Fuente. Elaborado en base a información de la Tabla 3

Se aprecia que la turbidez se incrementa en más de seis veces en la estación de muestreo tres respecto de la estación uno; este incremento es debido principalmente por las características geomorfológicas que permiten un arrastre de sedimentos y procesos erosivos cuya génesis se da por la dinámica natural de la zona, teniendo como consecuencia la pérdida de capacidad de albergar organismos de diversidad acuática, también al aumentar la turbiedad, las partículas suspendidas absorben el calor del sol y por ello aumenta la temperatura del agua, lo que a su vez reduce los niveles de oxígeno disuelto. Además, como las partículas dispersan la luz, impiden la actividad fotosintética.

De otro lado, los fosfatos se incrementan sustancialmente debido al alto contenido de detergentes que arrastran las aguas residuales domiciliarias, así como debido a las prácticas agrícolas en las que se utilizan fertilizantes.

Al comparar la turbidez presente en el agua del río Saphy con el ECA-agua aprobado por el MINAM, se puede apreciar que a partir de la estación de muestreo dos sobrepasa estos estándares de calidad, sobre todo en la estación tres por el aporte de aguas residuales provenientes de los asentamientos poblacionales existentes en este último tramo del río.

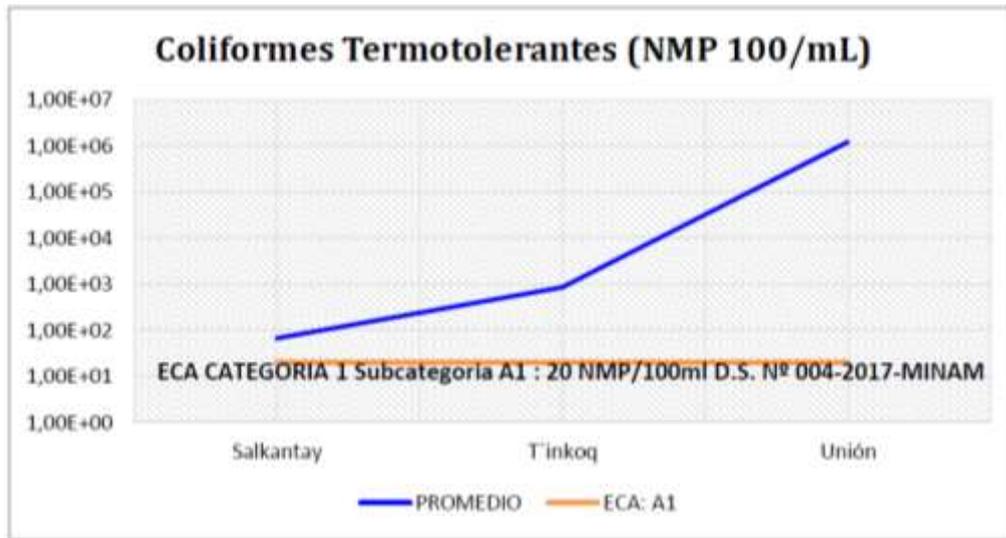
**Figura 5.** Turbidez en comparación con el ECA-agua. Río Saphy



Fuente. Elaborado en base a información de la Tabla 3

Los coliformes fecales se incrementan enormemente por la presencia de aguas cloacales que son vertidas directamente al río, constituyéndose en una fuente de infección real y efectiva. Lo mencionado previamente, se relaciona manifiestamente a la presencia de contaminación proporcionada por parte del núcleo urbano asentada en la margen derecha de la microcuenca, en el último tramo del río Saphy. Cuando se comparan las concentraciones de coliformes con el ECA-agua, en todas las estaciones son superiores a este índice, particularmente en las estaciones dos y tres.

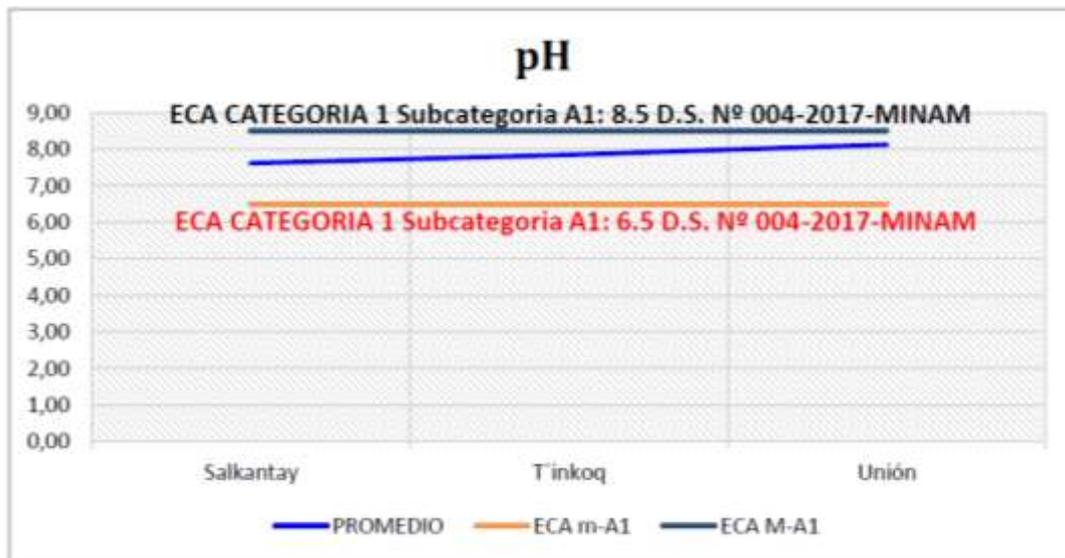
**Figura 6.** Concentración de coliformes fecales comparados con el ECA-agua. Río Saphy



Fuente. Elaborado en base a información de la Tabla 3

Es evidente la alcalinización del agua y, en términos generales, el incremento de los sólidos disueltos totales, significando la pérdida de la calidad del río Saphy a partir de la estación de muestreo dos. Al comparar los valores encontrados del pH y sólidos disueltos con el ECA-agua, ambos valores son superiores, especialmente los sólidos disueltos totales; indicando la pérdida de la calidad del agua.

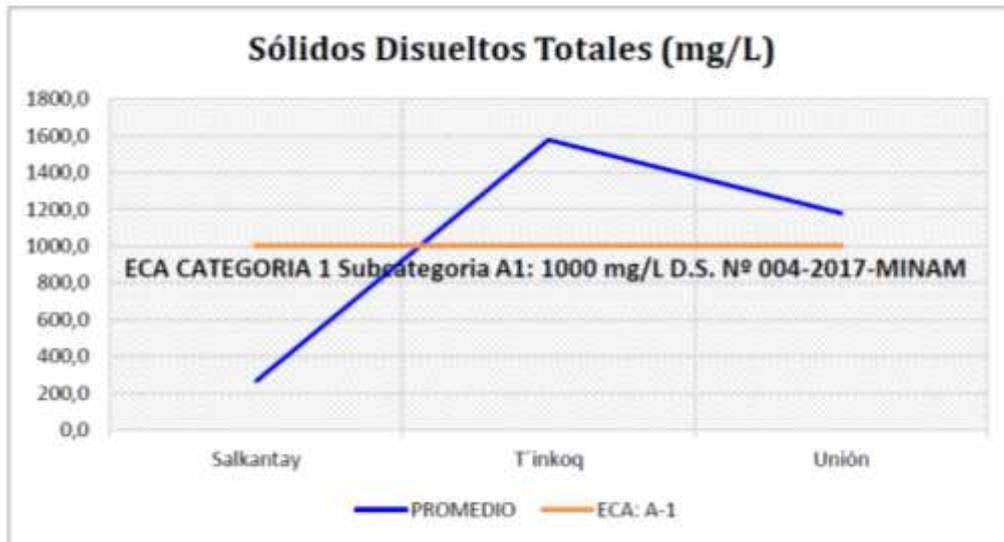
**Figura 7.** Valores de pH comparado con el ECA-agua. Río Saphy



Fuente. Elaborado en base a información de la Tabla 3

Es de manifestar que el pH fluctúa considerablemente con la hora del día y la profundidad del agua debido a que el pH está estrechamente relacionado a la concentración de dióxido de carbono.

**Figura 8.** Concentración de sólidos disueltos totales (SDT) comparados con el ECA-agua. Río Saphy



Fuente. Elaborado en base a información de la Tabla 3

En las estaciones dos y tres, los valores de los SDT, son superiores al ECA-agua, lo que implica la pérdida de la calidad a partir de la estación de muestreo dos.

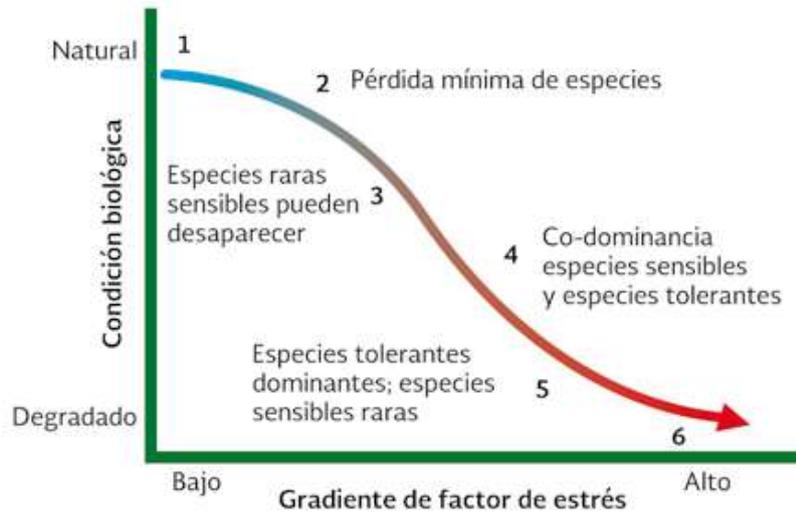
### 3.2. Pérdida de la Calidad del Agua en Ríos Urbanos

Analizando la pérdida de la calidad del agua del río Saphy en Cusco, se colige que una de las principales causas es la contaminación de los cursos receptores con aguas residuales urbanas, que, de conformidad a los estudios de Helmer (1999), por razones de salud pública y por consideraciones ambientales, económicas y sociales, las aguas residuales provenientes de los usos poblacionales o procesos industriales, no pueden ser eliminadas evacuándolas directamente a las fuentes naturales o reusándolas de la misma forma para usos con fines agrícolas; toda vez que constituye en una obligación de quien lo produce, asumir los costos que representa su tratamiento previo; sin embargo, la mayor proporción de las aguas residuales generadas en las ciudades no son tratadas, vertiéndose directamente a los cauces naturales.

Lo anterior, puede ser esquematizado mediante la Figura 9 que explica el súbito deterioro de la calidad de los ríos como consecuencia de la contaminación sin control, evidenciándose una gradiente de la condición biológica de un curso de agua. La curva

que baja de una condición 1, un río en condiciones naturales, a una condición 6, un río degradado con altos factores de contaminación.

**Figura 9.** Pérdida de las condiciones ecológicas de un río por contaminación



Fuente. Tomado de Gil, 2019

### 3.3. Principales Fuentes de Deterioro del Río Saphy

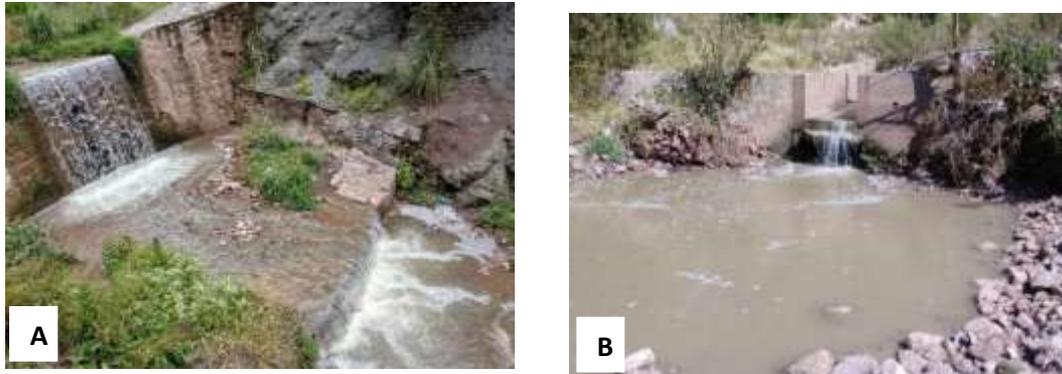
*Tres son las fuentes principales que afectan la calidad del agua de los riachos, materia de la investigación:*

- a. La actividad agrícola y pecuaria, con sus procesos de deforestación, uso intensivo del suelo y surcos a favor de la pendiente y, sobrepastoreo. Procesos que generan erosión, vertido de agroquímicos, sólidos totales y otros.
- b. Las aguas residuales sin previo tratamiento vertidas por todos los asentamientos poblacionales, constituyen la fuente de coliformes fecales, sólidos totales, fosfatos, cloruros, amoníaco, detergentes y nitratos.
- c. Los residuos sólidos, principalmente aquellos constituidos por latas, embaces de plástico, vidrio, etc. que no son degradables, generan los mayores disturbios en los hábitats y afectan la estética del cauce y aguas de la cuenca.

Los vertidos orgánicos contenidos en las aguas residuales provenientes de las poblaciones, especialmente en el último tramo, alteran sustancialmente la calidad natural del río; no obstante, la concentración del oxígeno disuelto es relativamente alta, debido a la importante turbulencia, elevada oxigenación por la presencia de cascadas naturales o infraestructura construida con este propósito que conducen a una capacidad

autodepuradora alta, razón por la que los niveles de la DBO son relativamente bajos (Ver Figura 10).

**Figura 10.** El río Saphy en el último tramo recibe aguas residuales y posee aereadores de cascada que re oxigenan el agua.



Tal como se manifestó, las aguas y cauce del río Saphy son depositarios de todo el material aluvial, aguas residuales, residuos sólidos y, sedimentos provenientes de la erosión pluvial.

Uno de los factores causales de la contaminación es el deficiente sistema de alcantarillado o drenaje, constituido por una red de tuberías que colectan todo, desde aguas de excreta domésticas, aguas pluviales, aguas de escorrentía, etc. La contaminación se complica por la carencia de colectores en los asentamientos humanos marginales que hacen que las aguas residuales domésticas descarguen directamente al río.

### 3.4. Discusión

Fernández y Solano (2005) al hacer estudios sobre índices de calidad de ríos en Pamplona, afirman que todos los índices de calidad deben incluir por lo menos tres de los siguientes parámetros: OD; DBO o DQO;  $\text{NH}_4$ ;  $\text{PO}_4$ ;  $\text{NO}_3$ ; pH y sólidos totales y que todos son de interés; al hacer los estudios de pérdida de calidad del agua en el río Saphy, es necesario aplicar, no sólo tres parámetros sino, además coliformes termotolerantes, turbidez, y temperatura; estos factores señalan con contundencia la pérdida de la calidad del agua por contaminación.

El comportamiento del OD en el río Saphy, concuerda con lo propuesto por Bain y Stevenson (1999), mientras haya pendiente y saltos de agua que re oxigenen el río y que la temperatura se mantenga por debajo de  $15\text{ }^\circ\text{C}$  el curso de agua podría seguir albergando ecosistemas aún saludables; es el caso particular del río Saphy, no sólo referido a la pendiente sino al aporte de afluentes con alto contenido en oxígeno disuelto.

La medición de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua, es utilizada en numerosos trabajos para la evaluación de la calidad de la misma (Maggioni *et al.*, 2012; Rautenberg *et al.*, 2014; Cochero *et al.*, 2016) quienes al estudiar la calidad de las aguas del río Suquia en Córdova, señalan que los cambios son poco apreciables debido al caudal de dicho río. En el presente estudio, la evaluación usando los mismos parámetros, indican una pérdida de la calidad, evidenciado a través de los parámetros OD, DBO, pH y coliformes termo tolerantes.

De conformidad a Aznar (2000), para gestionar la calidad del agua sea para su vertido, tratamiento de depuración, potabilización o cualquier otro uso, es impredecible determinar parámetros físico químicos mediante métodos normalizados con el objeto de conocer si estos parámetros se encuentran dentro del intervalo que marca la legislación vigente. En el caso del río urbano Saphy en Cusco, los valores encontrados han sido comparados con el ECA-agua oficiales determinados por el MINAM; de ahí que, se concluye que el río ha perdido su calidad al ingresar al centro urbano.

En 2001, Machado realizó una caracterización fisicoquímica y biológica de las cuencas de los ríos Tapias y Tareas en el Departamento de Caldas (Colombia) determinando que la evolución de las características físico-químicas y biológica está relacionada con la presencia de los aportes de pesticidas, agroquímicos y detergentes ocasionando una pérdida de la calidad para el uso humano; en el caso del río Saphy en Cusco, la pérdida de su calidad se debe sustancialmente a los aportes de aguas residuales de origen domiciliario, residuos sólidos y escombros.

Nuestros resultados son coincidentes con León, 2014 y con Zhen, 2009, que sostienen que un índice de calidad del agua consiste básicamente en una expresión simple relacionada con el grado de contaminación, a partir de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de calidad del agua; lo que permite conocer en forma general el estado o “salud” del sistema acuático de un cuerpo de agua; en efecto nuestros estudios de campo en el río Saphy y los resultados de laboratorio determinan una pérdida de la calidad o “salud” del río desde sus inicios hasta el último segmento del río; pues los indicadores son evidentes de la pérdida de la calidad del agua.

## 4. CONSIDERACIONES FINALES

### 4.1. Conclusiones

Los resultados de los análisis de laboratorio referidos a coliformes fecales, denotan que los valores sobrepasan los estándares permisibles proporcionados por la OMS/OPS incluso para actividades de contacto corporal como es la recreación; particularmente en la estación de muestreo tres, ubicada en el último tramo, pues los efluentes de aguas residuales desembocan directamente en el río estudiado.

El pH, para el río Saphy, es alcalino debido al aporte alóctono o exógeno de rocas, minerales y sedimentos ricos en carbonatos, sulfatos y cloruros y al aporte endógeno de las aguas residuales con alto contenido de sustancias alcalinas como detergentes y aguas residuales domésticas.

Los detergentes no sólo son fuente de polifosfatos y podrían generar la proliferación de algas y otra vegetación acuática, también podrían perjudicar el proceso de depuración en la planta de tratamiento de aguas residuales de San Jerónimo, al impedir la floculación, así como producir espumas.

Desde una perspectiva ecológica, un río es un ecosistema dinámico y complejo caracterizado por la presencia de agua dulce en movimiento que recorre distancias en favor de la gravedad a través de un lecho o cauce. En su recorrido establece interacciones y conectividad ecológica (la conectividad es un atributo ecológico que significa la continuidad o conexión espacial de los ecosistemas sin interrupciones, en el que se favorecen los intercambios de materiales, energía y material genético entre las especies; en el ámbito de los socio ecosistemas, la conectividad ecológica implica procesos físicos, biológicos, sociales y económicos interconectados) en los tres ejes dimensionales en que transita: longitudinal, transversal y vertical. En los cursos de agua estudiados se aprecia con nitidez estas interconexiones y, además, un río es un ecosistema con marcada variabilidad temporal, tal como sostienen Gonzáles *et al.* (2014).

La presencia de nitratos, es un indicio de reciente contaminación orgánica o de procesos reductivos predominantes, provenientes de diversas fuentes, entre ellas, aguas residuales, uso de fertilizantes en agricultura y provenientes de las excretas de ganado.

En la mayoría de los casos las variables más empleadas para la valoración físico-química del agua a partir de indicadores son la temperatura, pH, OD, DBO<sub>5</sub>, nitratos, fosfatos y

sólidos suspendidos totales, parámetros que son contundentes para la determinación de la pérdida de la calidad de un curso de agua.

#### **4.2. Recomendaciones**

**a. Institucional:** como punto de partida, los entes gubernamentales tales como la Municipalidad del Cusco, dentro de ella la Comisión Ambiental Municipal-CAM; la Autoridad Nacional del Agua-ANA, la Autoridad Administrativa del Agua-AAA; la Autoridad Local del Agua-ALA, la Dirección Regional de Turismo, Gobierno Regional Cusco, Gerencia Regional de Agricultura y Riego, tienen la máxima responsabilidad de impulsar estrategias con objetivos orientados al control y seguimiento continuo de las condiciones de calidad de las microcuencas y los cursos de agua que escurren en Cusco, mediante monitoreos continuos de parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos, con el fin de generar bases de datos y registros cuantitativos, que permitan conocer cambios y comportamientos hídricos en el tiempo. Es de suma importancia que la ejecución de dichas estrategias incluya personal capacitado y tecnologías adecuadas, para así proporcionar información confiable. Sumado a lo anterior, la articulación de procesos de planificación como: los Planes de Desarrollo Municipal y planes de gestión del riesgo.

En efecto, las entidades que planifican, cuidan y gestionan los espacios públicos y la infraestructura natural de la ciudad, son los gobiernos locales quienes deben planificar y gestionar los espacios públicos y la infraestructura natural de la ciudad, en el marco de sus políticas de gestión del territorio reflejadas en los Planes de Desarrollo Urbano y otros planes de carácter territorial y ambiental. Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (Decreto Supremo N° 011-2006 – Vivienda, Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma G40), los espacios públicos se definen como una superficie de uso público destinado a la circulación o recreación. Esta definición genérica puede abarcar una diversidad de espacios, desde calles, veredas, plazas y parques, como las fajas ribereñas de los ríos y otros ecosistemas urbanos destinados principalmente al uso público y la recreación. La distribución equitativa de espacios públicos dentro de la ciudad es necesaria para la accesibilidad y el uso en general. También lo es la calidad de los espacios (ONU-HABITAT, 2018). Dentro del contexto anteriormente comentado, se propone:

- Actualizar el Plan de Desarrollo Urbano en las municipalidades y que incluyan la gestión de los ríos urbanos y de la periferia de las ciudades.

- Actualizar el Plan de Acondicionamiento Territorial a fin de identificar actividades menos contaminantes y deteriorantes de las aguas de los ríos urbanos.
  - Reformular el PIGARS con la finalidad de incorporar acciones para la gestión integral de los residuos sólidos en el marco del D. L. 1278 (MINAM 2016).
  - Elaborar proyectos de inversión para la ejecución de áreas verdes longitudinales en la cuenca de los ríos urbanos, no sólo para recuperar la calidad de los cauces, sino que sea un atractivo para la población como un área de diversión y solaz.
  - La AAA, ALA y las municipalidades determinen las fajas marginales de los ríos urbanos actualmente invadidos.
  - De conformidad al numeral 12 del artículo 15° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, (Congreso de la República, 2009), la Autoridad Nacional del Agua ejerce jurisdicción administrativa exclusiva en materia de aguas, desarrollando acciones de administración, fiscalización, control y vigilancia, para asegurar la conservación de las fuentes naturales de agua, de los bienes naturales asociados a esta y de la infraestructura hidráulica, ejerciendo para tal efecto, la facultad sancionadora y coactiva; por lo tanto, la ANA, la AAA y las ALA deben mantener permanente vigilancia y control en los cauces de los ríos urbanos y velar por su recuperación en su calidad.
  - Cumplimiento irrestricto de D.S. N° 010-2019-VIVIENDA, que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y su Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario.
- b. Cuidado de zonas estratégicas:** dentro de la microcuenca es crucial, el cuidado, control y conservación de ecosistemas estratégicos, principalmente aquellas ubicadas en la parte alta y media del río Saphy donde se registran impactos como consecuencia de la actividad humana, áreas tales como nacimientos de agua, en las áreas de bosques naturales y residuales de especies nativas, dada la importancia que éstos representan para absorber el agua en épocas de lluvia y dosificarla en tiempos de sequía. De este modo, llevar a cabo programas de reforestación y protección de zonas altas de la microcuenca con especies vegetales propias que presenten una adaptación óptima para los diferentes tipos de suelo del lugar, debido a que la cobertura de

bosques solo está representada por bosques residuales, evidenciándose áreas denudadas y erosionadas, de modo tal, que las actividades humanas continúen expandiéndose y causando mayor afectación sobre estas zonas de especial cuidado (Vega 2011).

- c. **Uso doméstico:** dentro de este aspecto, es de suma importancia el acceso al agua potable para las poblaciones asentadas en la microcuenca. Conjuntamente las capacitaciones que promuevan el ahorro y control mediante la instalación de medidores, para obtener la mayor eficiencia en el uso del recurso. Adicionalmente, la creación de mecanismos de tratamiento de aguas residuales por medio de la implementación de pozos sépticos. Esto con el fin de reducir los posibles impactos por parte de vertimientos de aguas residuales a las microcuencas y la posibilidad de la aparición de enfermedades de tipo hídrico.
- d. **Gestión de aguas residuales.** Considerando la pérdida de la calidad de las aguas en el último tramo de la cuenca debido a la descarga directa de las aguas residuales domiciliarias, se recomienda que la Municipalidad provincial del Cusco, junto a las municipalidades distritales y a través de SEDA Cusco, puedan construir un colector en Saphy, derivando las aguas al colector común a efecto de que las aguas residuales sean conducidas a la planta de tratamiento y no contaminen los cursos de agua.
- e. **Gestión de residuos sólidos.** Los asentamientos humanos constituidos en ambos márgenes del río Saphy; especialmente en el último tramo, no tienen la atención adecuada en el servicio de limpieza pública, por lo que los pobladores vierten sus residuos sólidos directamente en el cauce y orillas del río; por lo tanto, se recomienda impulsar y promover el adecuado servicio municipal en la gestión de residuos sólidos para los asentamientos humanos de la micro cuenca.
- f. **Reforestación.** Especialmente el último tramo del río, se halla erosionada e inestable, por lo tanto, es pertinente la reforestación con especies nativas y la construcción de infraestructura para estabilizar los taludes del río.

## **5. LISTA DE REFERENCIAS**

Alexander, Richard B *et al.* 2001. USGS, Digital Data Series DDS-37 (2001). U.S Geological Survey National Stream WQ monitoring Net Works (WQN). 86 pp.  
<https://doi.org/10.3133/ofr96337>

- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 2017. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
- ANA-Autoridad Nacional del Agua. 2016. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en cuerpos Naturales de Agua Superficial. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos del Ministerio de Agricultura. Lima. 92 pp. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/209>
- Aznar, A. 2000. Determinación de los parámetros físico químicos de la calidad de las aguas. Instituto tecnológico de química y materiales “Alvarado Alonso barba”. Madrid. España. 12 pp.
- Bain, M. B. & Stevenson, N. J. 1999. Aquatic habitat assessment: common methods. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. MD, USA, 224 pp.
- Boyacioglu, H. 2007. Development of a water quality index based on a European classification scheme. Water SA. Vol. 33, No. 1, January, 2007.
- Burt, T; Howden, N. y Worrall, F. 2014. On the importance of very long-term water quality records. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, vol. 1, N° 1, pp. 41-48, 2014.
- CEPIS- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. División de Salud y Ambiente. 2002. Guía para la Vigilancia y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. OPS/CEPIS/PUB/02.79. Lima. 214 pp.
- Cochero, J., Cortelezzi, A., Tarda, A. S. & Gómez, N. 2016. An index to evaluate the fluvial hábitat degradation in lowland urban streams. Ecological Indicators 71: 134–144.
- Congreso de la República. 2009. Ley 29338. Ley General de Recursos Hídricos. Lima.
- Damo, R., & Icka, P. 2013. Evaluation of Water Quality Index for Drinking Water. Polish Journal of Environmental Studies, 22 (4), 1045-1051.
- FAO- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. 2013. Afrontar la escasez de agua: Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Informe sobre temas hídricos N° 38. E-ISBN 978-92-5-307633-8 (PDF). Roma. 80 pp.
- Fernández, N.; Solano, F. 2005. Índices de calidad y de contaminación del agua. Universidad de Pamplona.

- Flores, J. 2013. Propuesta de índice de calidad de agua residual utilizando un modelo aritmético ponderado. *Interciencia*, 38 (2), 145-149.
- Gil-Mora, J. E. 2019. Deterioro y pérdida de los ríos urbanos. *El Antoniano. Revista N° 134*: p.1-18. Cusco.
- González Mora, I. D.; Salinas Rodríguez, S. A. Guerra Gilbert, A.; Sánchez Navarro, R. y Ríos Patrón, E. 2014. Ríos libres y vivos, introducción al caudal ecológico y reservas de agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F. [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)
- Helmer, R. 1999. Control de la Contaminación del Agua. PNUMA-CCAAS-OMS-CEPIS. Lima. 546 pp. <http://www.cepis.org.pe>
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). (2005). Estudio Nacional del Agua. Documento preparado para: Ministerio de Medio Ambiente, Bogotá, Colombia. 253 pp.
- IDEAM, 2010. Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C. 420 pp.
- León Carrasco. M. G. 2014. Diagnóstico de la calidad del agua de la microcuenca del río Conguime y diseño de una propuesta de mitigación para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad de agua (ICA Brown) en la provincia de Zamora Chinchipe cantón Paquisha. Tesis Posgrado. Universidad Central. Ecuador.
- Machado, A. 2001. Caracterización fisicoquímica y biológica de las cuencas de los ríos Tapias y Tareas, Departamento de Caldas, Colombia. Universidad de Antioquia. Medellín.
- Maggioni, T., Hued, A.C., Monferrán, M.V., Bonansea, R.I., Galanti, L.N. & Amé, M.V. 2012. Bioindicators and biomarkers of environmental pollution in the middle-lower basin of the Suquía River (Córdoba Argentina). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 63, 337–353.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. Guía del Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Lima. Perú.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. D. L. 1278. Decreto Legislativo que Aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos. Lima.

- MINAM-Ministerio del Ambiente. 2017. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. El Peruano. 07 de junio 2017. Lima.
- Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento. D. S. N° 011-2006-VIVIENDA. Aprueban 66 Normas Técnicas del Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE. Lima.
- Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento. D. S. 010-2019-VIVIENDA. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. Lima.
- Montoya, M.; Contreras, C.; García, V. 1997. Estudio Integral de la Calidad del Agua en el Estado de Jalisco., Com. Nal. Agua., Geren., Reg. Lermasantiago, Guadalajara, 1997, p. 106.
- Monroy, N. 2011. Análisis de la situación jurídica actual de los recursos hídricos en la república de Guatemala y la necesidad de crear la ley de aguas y rectoría del recurso hídrico. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/04/04\\_9145.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/04/04_9145.pdf)
- OEA-Organización de los Estados Americanos. 2004. Metodología estadística para la medición de la calidad de los recursos hídricos en los países de la Comunidad Andina. Preparado por: Proyecto Sistema de Información del Medio Ambiente, SIMA, Instituto Lima, Perú.
- ONU-HABITAT. Síntesis ODS 2018 sobre Ciudades y Comunidades Sostenibles. Washington.
- Orozco, C.; Pérez, A.; González, M. N.; Rodríguez, F.; Alfayate, J. 2005. Contaminación Ambiental. Una visión desde la química, tercera edición. Thomson Editoriales Spain Paraninfo, S.A. 682 pp.
- Ott, W. 1978. Environmental Indices. Theory and Practice. A Science, Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor.
- Pedraza, E. 2016. Variables más influyentes en la calidad del agua del río Bogotá mediante análisis de datos. Revista Logos Ciencia & Tecnología, Volumen 7. Enero-junio. 35-43.

- Ramírez, A., Restrepo, R., Viña, G. 1997. Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicación. *Ciencia Tecnología y Futuro* 1(3): 135 - 153.
- Ramírez, A., Restrepo, R., Cardeñosa, M. 1999. Índices De Contaminación Para Caracterización de Aguas Continentales y Vertimientos. Formulaciones. *Ciencia Tecnología Y Futuro* 1(5): 89- 99.
- Ramírez, A., Restrepo, R., Fernández, N. 2005. Programas de Monitoreo Sobre Aguas Continentales Para la Evaluación de Impactos Ambientales por Vertimientos. *Revista Bistua* Vol. 3.
- Rautenberg, G. E., Amé, M. V., Monferrán, M. Bonansea, R.I. & Hued, A.C. 2014. A multi-level approach using *Gambusia affinis* as a bioindicator of environmental pollution in the middle-lower basin of Suquía River. *Ecological Indicators* 48: 706–720.
- Rickert, D. 1993. Water quality assessment to determine the nature and extent of water pollution by agriculture and related activities. En: *Prevention of Water Pollution by Agriculture and Related Activities*. Actas de la Consulta de Expertos de la FAO, Santiago, Chile, 20-23 de octubre de 1992. Water Report 1. FAO, Roma. Pág. 171-194.
- Rodríguez, E.; Ramos, A.; Romero, Z. 1997. Aplicación de un Índice de Calidad Acuática en cuerpos de agua de Tabasco, México. CEPIS.
- Samboni, N. E.; Carvajal, Y.; Reyes T. 2011. Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. *Ingeniería y Competitividad*, vol. 13, N° 2, pp. 49 - 60, 2011.
- Thi, M. 2011. Development of Water Quality Indexes to Identify Pollutants in Vietnam's Surface Water. *Journal of Environmental Engineering*, 137(4), 273-283, 273-283. doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000314.
- Tyson, J.M. & House, M. A. 1989. The application of a water quality index to river management. *Water Science and Technology*, v 21, n 10-11 pt 4, p. 1149-1159
- Valdés, J; Samboni, N. E. y Carvajal, Y. 2012. Desarrollo de un indicador de la calidad del agua usando estadística aplicada, caso de estudio: subcuenca Zanjón Oscuro. *Revista Tecno Lógicas*, n.º 26, pp. 165-180, 2011.

- Vega H. 2011. Propuesta Para Promover el Manejo Eficiente del Recurso Hídrico en la Microcuenca Alta del Río Botello en el Municipio de Facatativá, desde el Marco de la Gestión Integral del Agua. Tesis de Maestría, Bogotá D.C: Pontificia Universidad Javeriana.
- Walski, T. M.; Parker F.L. 1974. Consumers Water Quality Index., en Jour Environ. Eng. Div., 100, No. EE3, 1974, pp.436-448.
- Zhen, Y. 2009. Calidad Fisicoquímico y bacteriológica del agua para el consumo humano de la microcuenca Quebrada Victoria Curubande, Costa Rica. Tesis, Guanacaste: Universidad Estatal a Distancia.