

Índice Biótico e Índice de Polución del río Qochoq - Calca, Cusco

Biotic Index and Pollution Index of the Qochoq river - Calca, Cusco

Recibido: 22 de Junio del 2022 | Aceptado: 30 de Noviembre del 2022

Juan Eduardo Gil Mora^{1y2} & Rubén E. Baca Vargas³

¹*M. Sc. en Ciencia y Tecnología Ambiental.*

²*Docente cesante de la Facultad de Ciencias Biológicas - UNSAAC, Área de Ecología.*

³*Consultor en temas de Gestión Ambiental*

Correo electrónico: mundoandino2005@yahoo.es

Resumen

El río Qochoq se origina en el divortium aquarum, del abra de Amparaes a 5 650 m.s.n.m, y en los deshielos del nevado Ccolque Cruz, en la cordillera oriental en la provincia de Calca, Cusco; el área de escurrimiento es de 162.85 km² y una longitud de 20.81 km, desembocando en la ciudad de Calca en el río Vilcanota a 2 929 m.s.n.m. En su recorrido recibe tributarios, debido a diversas actividades económicas como las pecuarias en la parte alta, agrícolas en la intermedia y baja, las descargas de aguas residuales, residuos sólidos y agroquímicos, pierde su calidad para diversos usos. El objetivo del estudio fue la determinación de la calidad del agua, para ello, se utilizaron los índices bióticos e índices de polución, aplicando la metodología propuesta por Tuffery & Verneaux empleando listas sistemáticas basadas en macro invertebrados como bioindicadores; los resultados indican que el río Qochoq ha perdido su calidad, inicia con un índice biótico de ocho en la estación de muestreo uno, que implica una calidad de agua aceptable presentando aguas límpidas y oxigenadas; en esta misma estación, el índice de polución es de dos y culmina con un índice de polución de ocho, significando que el río en su recorrido ha perdido su calidad, evidenciando que la polución es muy importante y la calidad de agua es peligrosa. La determinación del Índice biótico e índice polución en el río Qochoq, sirve para aplicar a diversos ríos en los andes del Cusco y Perú.

Palabras clave: Benthos, lentico, lotico, macro invertebrados, perifiton.

Abstract

The Qochoq river originates in the aquarium divortium, from the Amparaes pass at 5,650 m.a.s.l., and in the snowmelt of Ccolque Cruz, in the eastern mountain range in the province of Calca, Cusco; the runoff area is 162.85 km² and a length of 20.81 km, flowing into the city of Calca in the Vilcanota River at 2,929 m.a.s.l. On its route it receives tributaries, due to various economic activities such as livestock in the upper part, agriculture in the intermediate and lower parts, wastewater discharges, solid waste and agrochemicals, it loses its quality for various uses. The objective of the study was to determine the quality of the water, for this purpose, biotic indices and pollution indices were used, applying the methodology proposed by Tuffery & Verneaux using systematic lists based on macroinvertebrates as bioindicators; the results indicate that the Qochoq river has lost its quality, it starts with a biotic index of eight at sampling station one, which implies an acceptable water quality presenting clear and oxygenated waters; in this same sampling station, the pollution index is two and culminates with a pollution index of eight, meaning that the river has lost its quality along its course, showing that pollution is very important and the quality of the water is dangerous. The determination of the biotic index and pollution index in the Qochoq river, is used to apply to various rivers in the Andes of Cusco and Peru.

Keywords: *Benthos, lentic, lotic, macro invertebrates, periphyton.*

Introducción

De conformidad a Benavente & Madera (2011) y, Carlotto et al (1996), el río Qochoq, colector principal de la microcuenca del mismo nombre tiene un área de drenaje de 162.85 km², ha sido afectado en sus características físicas, químicas y biológicas, por ende en su calidad; este río es utilizado en agricultura, actividad pecuaria, recreación y para consumo doméstico de diversas comunidades y asentamientos humanos a lo largo de su cauce y mediante diversas acciones no controladas se viene deteriorando su calidad, cambios que han sido evaluados para determinar los niveles de polución. La ciudad de Calca, capital del distrito y provincia del mismo nombre, utiliza las aguas del río Qochoq para el abastecimiento de agua de consumo para más de 15 000 habitantes.

La calidad de las aguas de un medio lotico, puede ser evaluado mediante diversos métodos científicos (Gómez et al., 2007); la gestión de los recursos hídricos motiva a conocer su comportamiento y respuesta ante las diversas acciones económicas e intervenciones humanas; por lo tanto, es importante implementar métodos rápidos y económicos para determinar la pérdida de la calidad de un curso de agua. Uno de los métodos utilizados es el uso de bioindicadores, que son organismos específicos que contribuyen a evaluar las modificaciones ambientales

antes que el daño sea irreversible (McCarthy & Shugart, 1990).

En el Perú y en la región Cusco, actividades como el desbrozo agrícola, el vertido de escombros al río, el pastoreo de ganado, la agricultura y el desarrollo urbano e industrial han conducido a la degradación sustancial del hábitat de ríos y de la calidad del agua de los mismos (Kutschker, 2009). De otro lado, las prácticas agrícolas en tierras de cultivo generan potenciales contaminantes que ingresan al río por escorrentía y lixiviación (Jorgensen, 2011). Así mismo, en los tramos de desarrollo urbano, los ríos son muy vulnerables y presentan marcadas alteraciones a causa de los residuos sólidos que son vertidos a los cursos de agua y, debido a que contienen contaminantes como compuestos organoclorados, metales, plásticos y otros (Maceda-Viega et al., 2013). Las actividades humanas transforman el sistema natural de la cuenca alterando la composición de las especies, la regularidad de los ciclos de materia, los flujos de energía y con todo ello el equilibrio del sistema. En Perú, los ríos evidencian una fuerte transformación debido a que son soporte de actividades de los sistemas sociales, son fuente de recursos naturales y reciben residuos de origen agrícola, industrial y urbano (Roldán, 2003).

Los invertebrados bentónicos son los organismos más utilizados en el biomonitoreo de ríos afectados por el impacto humano (Bonada et al., 2006). Los macro invertebrados del bentos son una importante fracción en la biodiversidad de un río, debido a ello, son frecuentemente utilizados como indicadores en ambientes acuáticos, su riqueza y diversidad están fuertemente correlacionados con los cambios en su ambiente (Cortelezzi et al., 2015).

Las fluctuaciones en las características naturales de los hábitats acuáticos determinan la composición de especies de la fauna acuática y son usados como bioindicadores de la calidad del ambiente (Seoanez, 1999). De acuerdo con Vázquez-Silva et al. (2006), los bioindicadores aportan información valiosa sobre la calidad del agua con menor costo en comparación con los métodos fisicoquímicos. El propósito de los monitoreos biológicos y el cálculo de estos índices es detectar cambios en el ecosistema de forma natural o influenciado por el hombre (Karr & Chu, 1997). Tufféry & Verneaux (1967), indican que las fluctuaciones que pueden presentarse en las características fisicoquímicas de los medios acuáticos (temperatura, salinidad, concentración de oxígeno, pH, velocidad de la corriente y, naturaleza del fondo) condicionan frecuentemente la presencia o ausencia de ciertas especies animales o vegetales.

Los objetivos de la investigación fueron determinar:

- a. Los Índices Bióticos en los diversos tramos del río Qochoq, y,
- b. Los Índices de Polución a fin de calcular los niveles de contaminación que afectan al río Qochoq.

La determinación de los índices bióticos y los índices de polución de un río, como el Qochoq, con diversos usos, por lo tanto importante en la conservación de su calidad, permite identificar las principales causas de contaminación para proponer acciones correctoras; por lo que un río de alto uso, debe contar con un inventario de fuentes causantes del deterioro de la calidad de sus aguas; debe tenerse mapeado los

índices de calidad para su intervención posterior y sustancialmente para la planificación en la gestión del recurso hídrico.

Metodología

Ámbito de Estudio

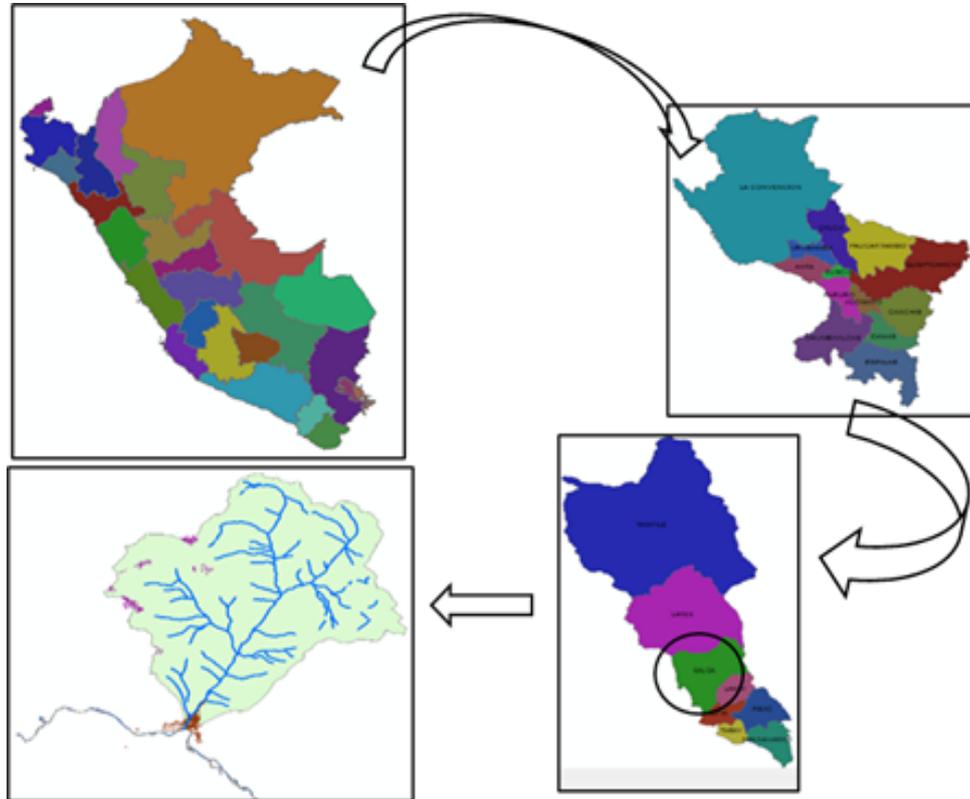
El universo de estudio y análisis es el río Qochoq en toda su extensión, desde sus orígenes en el divortium aquarum, ubicado en el abra de Amparaes a 5 650 m.s.n.m, hasta su desembocadura en el río Vilcanota en Calca a una altitud de 2 929 m, con un área de escorrentía de 162.85 km² y con una longitud de 20.81 km. El río ha sido dividido en tres segmentos o tramos, considerando los aspectos siguientes:

- a. Geomorfología, naturaleza geológica y pendientes;
- b. Actividad antrópica en el uso del suelo.
- c. Fuentes importantes de alteración de las aguas del río Qochoq y tributarios.
- d. Usos más importantes del río.
- e. Actividades económicas desarrolladas a lo largo de su cauce.

Identificados los segmentos del río, se determinaron las facies lentic y lotica; en cada segmento y para cada facie se tomaron las muestras representativas tanto para el periodo lluvioso (febrero y marzo) como para la temporada de secas (mayo y junio). En cada tramo, se diseñaron las estaciones de muestreo a fin de obtener muestras representativas. El diseño de investigación aplicado fue el de corte transversal (Campbell et al, 1963) que tiene un doble propósito, el describir las características del curso de agua, las fuentes de deterioro y, analizar los índices bióticos y de polución aplicando metodologías específicas; de otro lado, se aplicó la investigación exploratoria que según Cazau (2006), tiene como objetivo examinar o explorar un problema de investigación poco estudiado, como es el caso de los índices analizados para el río Qochoq; finalmente la investigación desarrollada en el río Qochoq, también es una investigación descriptiva (Glass & Hopkins, 1984) consistente en la recopilación de datos que describen los cambios en la calidad del agua a lo largo de su recorrido y con esta información se organiza, tabula, representa y describe la información obtenida aplicando los bioindicadores.

Figura 1

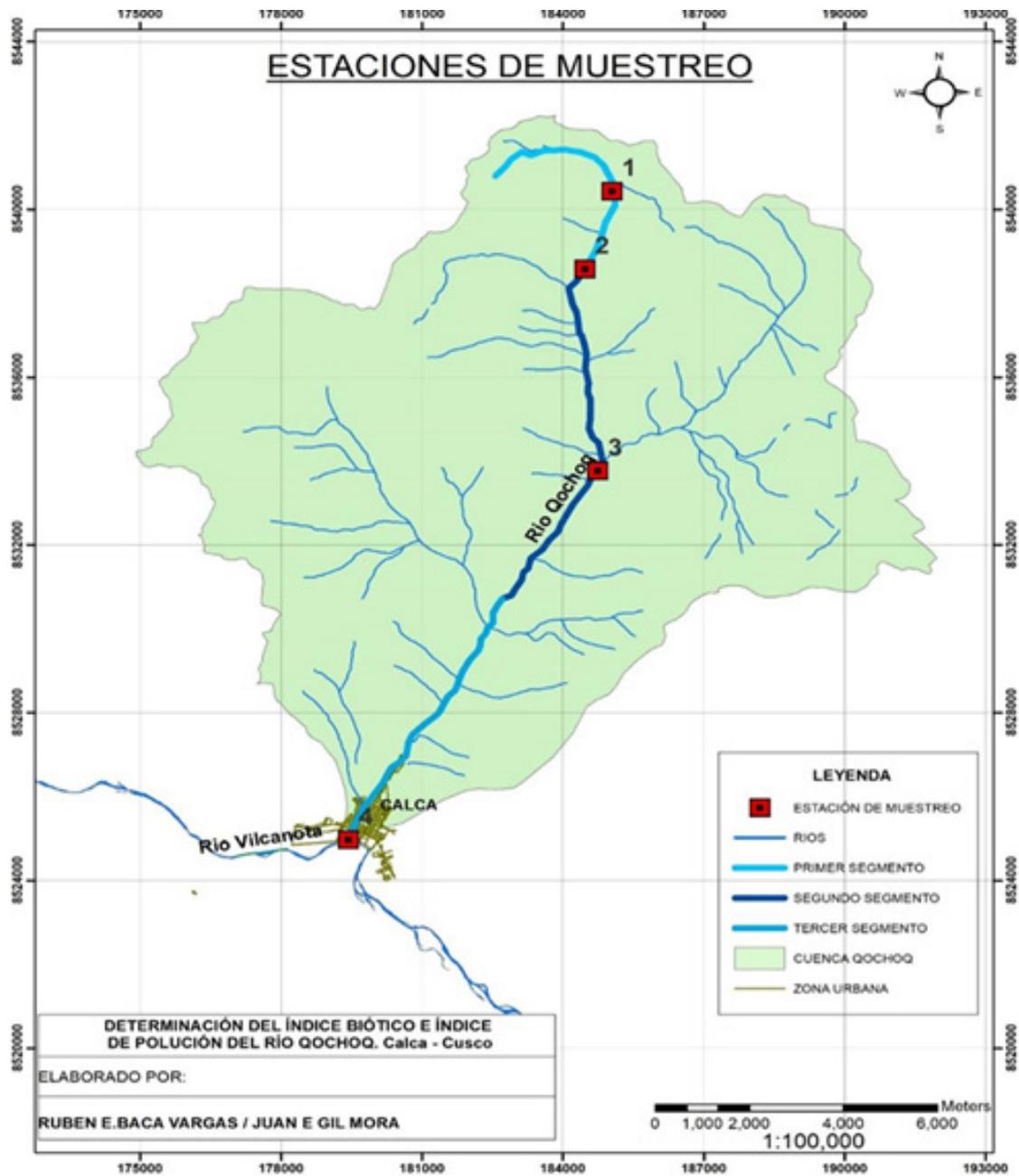
Mapa de ubicación de la cuenca de estudio. Río Qochoq, Calca.



Fuente. Elaborado sobre imagen de Google Earth Pro.

Figura 2

Tramos del río Qochoq con indicación de estaciones de muestreo y tributarios



Fuente. Elaborado sobre imagen de Google Earth Pro.

El tramo uno se inicia en los orígenes del río y tiene una longitud de 5.53 km. recibe tributarios temporales por ambas márgenes; la topografía y geomorfología es colinada, el curso de agua posee una pendiente suave y se puede apreciar facies loticas y lenticas; este tramo constituye el crenon del curso de agua. La actividad principal de las comunidades asentadas es la ganadería de camélidos andinos y de ovinos y, en la parte baja, existen cultivos de secano. Se tiene dos estaciones de muestreo.

El tramo dos tiene una longitud de 9.63 km. Presenta una mayor pendiente, es típicamente el ritron del río, evidenciado por velocidades de flujo alto, con un fondo formado por rocas y bolones gruesos. La actividad más importante es la agricultura con riego y, entre los cultivos destacan: papa, papa lisa, haba, tarwi, maíz, quinua, kiwicha y otros productos de pan llevar. Se observa asentamientos humanos y comunidades campesinas cuyas aguas residuales, y las provenientes de los cultivos son vertidos hacia el principal colector, el Qochoq; por lo tanto, se observa detritus vegetales en abundancia, así como materia orgánica en el lecho del río. Se ubica una estación de muestreo.

El tramo tres, tiene una longitud de 5.63 km, se caracteriza por presentar pendientes suaves y un mayor volumen o caudal; la última parte del río antes de su desembocadura al Vilcanota constituye el potamon. La actividad económica desarrollada es intensa; se practica agricultura con riego, uso del agua para consumo humano, recreación, abrevaderos y otros; de otro lado, el río recibe las aguas cloacales de todos los asentamientos humanos y especialmente de la ciudad de Calca, lo que hace que sea el tramo más contaminado.

Método para Medición de Caudales: Método del Flotador

De conformidad al Manual N° 5 Medición de agua (DGIAR, 2015), éste método permite estimar el caudal; para ello, se determina la velocidad del agua y el área del segmento del río. El Cálculo del caudal estimado se determina mediante la Ecuación 1:

$$Q = Fc \times A \times (L/T) \quad (1)$$

Donde:

Q = es el caudal, en m/s

L = es la longitud del tramo del río medido en metros.

A = es el área, en m²

T = es el tiempo promedio que el flotador tarda en recorrer el tramo del río, medido en segundos

Fc = es el factor de corrección o coeficiente de fricción.

El factor de corrección (Fc) está relacionado con la velocidad y la naturaleza del fondo del río, de acuerdo a los valores de la Tabla 1:

Tabla 1

Factor de corrección para calcular caudales en cursos de agua.

Naturaleza del fondo del río	Factor de corrección o fricción (Fc)
Arcilla, limo, arena	0.65 – 0.85
Grava	0.62 – 0.75
Piedras, bolones	0.58 – 0.7
Grava gruesa con hierbas	0.46 – 0.75

Fuente. Tomado de DGIAR, 2015.

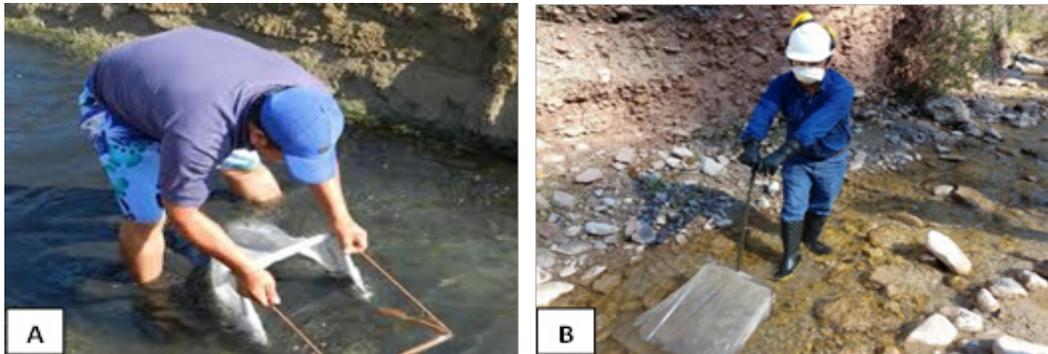
Metodología para el Muestreo de macro invertebrados bentónicos

La muestra de macro invertebrados fue recolectada utilizando la metodología de Roldán (2003) modificada. La red de muestreo utilizada para la evaluación de la comunidad de macro invertebrados fue la de Surber de 500 μm . La red se sumerge hasta el bentos colocada con la abertura a contracorriente (Merritt & Cummins, 2008), cubriendo un área de 6 m^2 aproximadamente. La persona que toma la muestra se coloca aguas arriba desde donde remueve con los pies el material de fondo y la corriente lleva los organismos a la red.

En cada estación de muestreo, se obtuvieron cinco tomas siguiendo la metodología de Carrera & Fierro (2001). Seguidamente se vertió el material recolectado sobre una bandeja de porcelana de fondo blanco facilitando la identificación y conservación del material (Darrigran et al., 2007 y Kuhlmann et al., 2012). Adicionalmente se recogieron los organismos adheridos a piedras, ramas, hojas y otros objetos encontrados en la estación de muestreo; con ayuda de una lupa y usando la clave de identificación taxonómica de Barrios & Puig (2012), se determinó el grupo, la familia o la especie que caracteriza a la estación de muestreo y que tipifiquen las características físicas, químicas y biológicas del segmento del río y para cada facie; los organismos no identificados en campo, se colectaron en frascos de vidrio con preservante de formaldehído al 2 % debidamente rotulados y refrigerados y llevado al gabinete de entomología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Figura 3

Red Surber para muestreo de macro invertebrados indicadores.



Fuente. elaboración propia

Método de Tuffery & Verneaux empleando listas sistemáticas para la determinación de los índices bióticos

El uso del Índice Biótico como indicador de la calidad de un río, implica el uso de organismos indicadores cuya población fluctúa dependiendo del grado o nivel de contaminación existente. El estudio de la calidad del agua en una estación de muestreo, se efectúa a partir de la obtención de muestras de macro invertebrados que colonizan el sustrato y que están sometidos a las eventuales fluctuaciones de calidad del agua. En el río Qochoq, se distinguieron dos facies o conjuntos de biotopos con características físicas definidas. La facie lotica, corresponde a los tramos de corriente rápida; y la facie lentic, asociada a aguas remansadas. Se tomaron muestras de las dos facies y determinándose un índice para cada facie; seguidamente, se procedió a la determinación sistemática de los invertebrados colectados en la muestra, limitándose a fijar, según el caso, la familia, el género o la especie, previa definición de éstos límites como Unidades Sistemáticas. La determinación de los macro invertebrados presentes en las muestras permite conocer la calidad y diversidad de la fauna existente por el número total de unidades sistemáticas definidas, según la Tabla 2.

Tabla 2*Límites de precisión de las determinaciones prácticas de las unidades sistemáticas*

ORDEN	UNIDAD SISTEMÁTICA (Límite de precisión de la determinación)
Plecópteros	Género
Trichópteros	Familia o género, según el caso
Ephemeropteros	Género
Odonatos	Género
Coleópteros	Familia
Moluscos	Género o especie, según sea el caso
Crustáceos	Familia
Megápteros	Género
Hemípteros	Género
Dípteros	Familia
Planarias	Género o especie, según sea el caso
Hirudineos	Género o especie, según sea el caso
Oligoquetos	Familia o presencia
Nematodos	Presencia
Hidracáridos	Presencia

Fuente. Tufféry y Verneaux. La Contaminación de las Aguas Continentales. 1967

Cálculo del Índice Biótico. Metodología de Tuffery (1967) & Verneaux (1979)

Se efectúa empleando:

1. Las Unidades Sistemáticas con indicación de los límites de precisión (Tabla 2)
2. La Tabla Estándar de determinación de los Índices Bióticos, en base a una lista faunística de los bioindicadores obtenidos en campo y agrupados según grupos faunísticos (columna I en la Tabla 3)

La tabla Estándar, tiene tres columnas. En la columna I, se hallan los grupos faunísticos, clasificados en siete grupos, del 1 al 7, según su tolerancia creciente a la polución orgánica. Los órdenes o familias situados en la parte superior de esta columna (los tres primeros), son los más exigentes a la calidad del agua; tienen carácter “esteno” y son muy sensibles a la polución. Los de la parte inferior (los tres últimos grupos: 5, 6 y 7), son más tolerantes a las variaciones del medio; tienen carácter “euri” y están asociadas a condiciones de polución orgánica más acusadas. Los grupos faunísticos de esta columna I, representan a los invertebrados acuáticos que superviven en aguas contaminadas.

Los grupos 1, 2 y 3 se subdividen en dos subgrupos (columna II) según se encuentre una sola unidad sistemática perteneciente a dichos grupos o varias (más de

dos unidades sistemáticas o menos de dos, para el grupo 3). Si hay más de una unidad sistemática de estos grupos (1 al 3) en la muestra, significa mayores condiciones excepcionalmente favorables a dichos grupos, mientras que una sola unidad sistemática, puede significar condiciones menos favorables, incluso condiciones límites. La columna II, sirve para iniciar la ubicación de los subgrupos que conducirán a determinar el Índice Biótico.

La columna III, muestra diversos compartimentos; en la parte superior, figuran cinco clases de abundancia, según el número total de unidades sistemáticas presentes en la muestra: 0 - 1; 2 - 5; 6 - 10; 11 - 15 y, 16 y más. Estas clases de abundancia encabezan cinco columnas verticales que se interceptan con las filas horizontales que corresponden a los grupos y subgrupos faunísticos. Esta es la zona de la Tabla Estándar que se lee para determinar el Índice Biótico. Las aguas más límpidas tienen el índice Biótico más elevado, cuyo valor es 10; las más contaminadas, el índice Biótico más bajo (1 o 0)

Para iniciar la lectura de la tabla estándar, por consiguiente, calcular el Índice Biótico, se procede:

- a. Ubicar el Grupo Faunístico más alto y, luego el Subgrupo mayor, seguidamente y en base a la abundancia (sub columnas en la Columna III), determinar el Índice Biótico.
- b. No olvidar que éste procedimiento se hace para las facies lotica (c) y lentic (l)

Con el objeto de comparar dos puntos de referencia, se describen las condiciones ambientales en cada uno de los sitios y se efectúa su caracterización. Luego se procede a la determinación sistemática de los macro invertebrados, limitándose a determinar taxonómicamente, según el caso, la familia, el género o la especie, previa definición de estos límites de precisión como “unidades sistemáticas”. Dichos límites difieren según los grupos taxonómicos. La determinación de los macro invertebrados presentes en las muestras permite conocer la calidad y diversidad de la fauna existente, caracterizada por el número total de unidades sistemáticas definidas según lo especificado en la Tabla 3.

La aplicación de los índices bióticos para el cálculo de los índices de polución, expresado mediante un valor numérico que fluctúa entre 0 y 10; el cálculo se efectúa por facies y en forma independiente y finalmente, para el conjunto de las dos facies (lotica y lentic), con esta información se representa mediante simbología convencional el grado o nivel de polución del río en un mapa.

Tabla 3

Tabla estándar de determinación de los índices bióticos

I Grupos Faunísticos		II Subgrupos, según el número de Unidades Sistemáticas (U.S) encontradas		III Número total de Unidades Sistemáticas presentes				
				0-1	2-5	6-10	11-15	16 y más
1	Plecópteros o Ecdiniúridos	1	más de 1 U.S.	----	7	8	9	10
		2	1 sola U.S.	5	6	7	8	9
2	Tricópteros con “estuche”	1	más de 1 U.S.	----	6	7	8	9
		2	1 sola U.S.	5	5	6	7	8
3	Anélidos o Efemerópteros (excepto Ecdyonuridae)	1	más de 2 U.S.	----	5	6	7	8
		2	2 o menos U.S.	3	4	5	6	7
4	Aphelocheirus u Odonatos o Gammaridae o Moluscos (excepto Sphaeridae)	0	Todas las U.S. anteriores, ausentes	3	4	5	6	7
5	Assellus o Hirudíneos o Sphaeridae o Heminópteros (excepto Aphelocheirus)	0	Todas las U.S. anteriores, ausentes	2	3	4	5	----
6	Tubificidae o Chironomidae de los grupos thummi y plomusos	0	Todas las U.S. anteriores, ausentes	1	2	3	----	----
7	Eristalinae	0	Todas las U.S. anteriores, ausentes	0	1	1	----	----

Fuente. Tufféry y Verneaux. La Contaminación de las Aguas Continentales. 1967

Aplicación del método de los índices bióticos a nivel de la red hidrográfica: cartografía de la calidad biológica de las aguas

Siguiendo a Verneaux (1979); se describe los principios y fases esenciales para el establecimiento del índice biótico representativo de una estación.

El índice biótico medio (I_p) expresa la aptitud del biotopo para el desarrollo de organismos acuáticos y se determina mediante la Tabla estándar, que es función, a su vez, de la naturaleza y diversidad de la macro fauna béntica (invertebrados), estudiada según un proceso normalizado de muestreo. Este índice permite estimar la importancia y extensión de una polución para lo cual hay que efectuar una comparación de los “índices bióticos” con los componentes ambientales, seguida de una comparación entre los índices de distintas estaciones. El grado de contaminación de una estación se expresa mediante un valor numérico convencional, que puede variar en una escala de 0 a 10.

Método para la Determinación de los índices bióticos:

- Para facies loticas, se utiliza la Ecuación 2:

$$I_{cp} = I_{cn} - I_c \quad (2)$$

Donde:

- I_{cp} : Índice de polución en facie lotica.
- I_{cn} : Índice biótico de la facie lotica en situación normal.
- I_c : Índice biótico de la estación considerada en facie lotica

- Para las facies lenticas, se emplea la Ecuación 3:

$$I_{lp} = I_{ln} - I_l \quad (3)$$

Donde:

- I_{lp} : Índice de polución en facie lentica.
- I_{ln} : Índice biótico de la facie lentica en situación normal.
- I_l : Índice biótico de la estación considerada en facie lentica.

- Para el conjunto de las dos facies

Se determina:

- a) El índice biótico medio, según la Ecuación 4:

$$I_b = \frac{I_c + I_l}{2} \quad (4)$$

- a) El índice de polución, mediante la Ecuación 5:

$$I_p = I_n - I_b \quad (5)$$

Siendo

$$I_n = \frac{I_{cn} + I_{ln}}{2} \quad (6)$$

I_n : es el índice biótico medio normal representativo de la calidad biológica del curso de agua en situación normal (fuera de las zonas de polución).

Tabla 4

Cartografía de la Calidad del Agua.

Índices Bióticos	Índice de Polución	Calidad del agua	Símbolos	Polución
$I_b \geq I_n - 1$	$I_p \leq 1$	Buena	-----	-----
$I_n - 1 > I_b \geq I_n - 3$	$I_p \leq 3$	Aceptable	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	Presente
$I_n - 3 > I_b \geq I_n - 5$	$I_p \leq 5$	Dudosa	⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗ ⊗	Notable
$I_n - 5 > I_b \geq I_n - 7$	$I_p \leq 7$	Crítica	● ● ● ● ● ● ● ●	Importante
$I_b < I_n - 7$	$I_p > 7$	Peligrosa	● ● ● ● ● ● ● ●	Muy importante

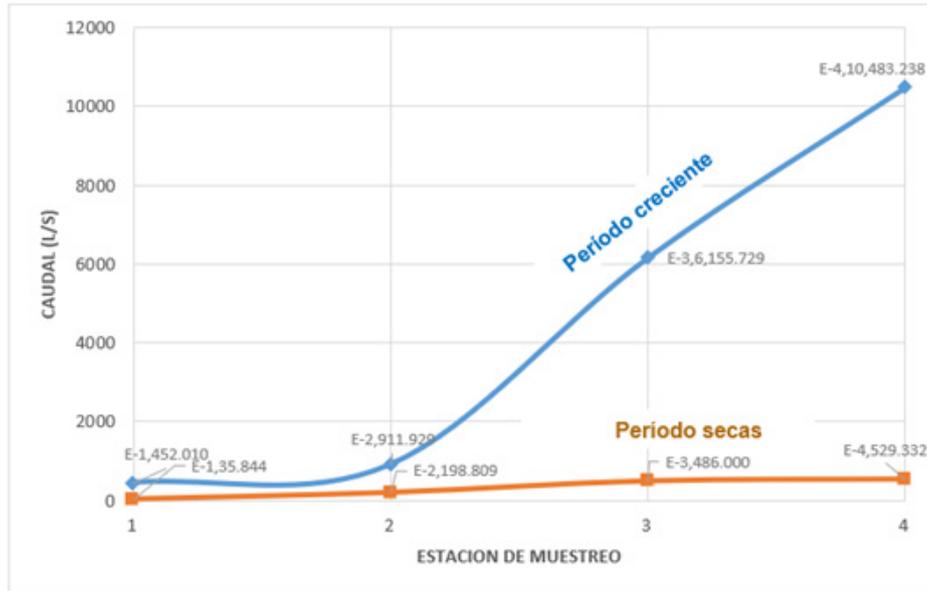
Fuente. Verneaux, la Contaminación de las Aguas Continentales. 1979

Resultados

Por las mediciones efectuadas en la época de creciente, el río Qochoq incrementa su caudal en más de 23 veces, pues en la estación uno, su caudal es de 452.01 L/s y en la estación cuatro, el caudal medido es de 10.48 m³/s; igualmente se colige que para la temporada de secas; el caudal disminuye en más de 16 veces; de otro lado, la fluctuación de los caudales entre la temporada de precipitación pluvial y la de secas también es sustancial; las mensuraciones nos inducen a colegir que la fluctuación del caudal es de casi 20 veces.

Figura 4

Caudales en época de creciente y secas para el río Qochoq, según estaciones de muestreo



Fuente. Elaborado en base a trabajos de campo.

Tabla 5

Presencia de unidades sistemáticas para la determinación del Índice Biótico

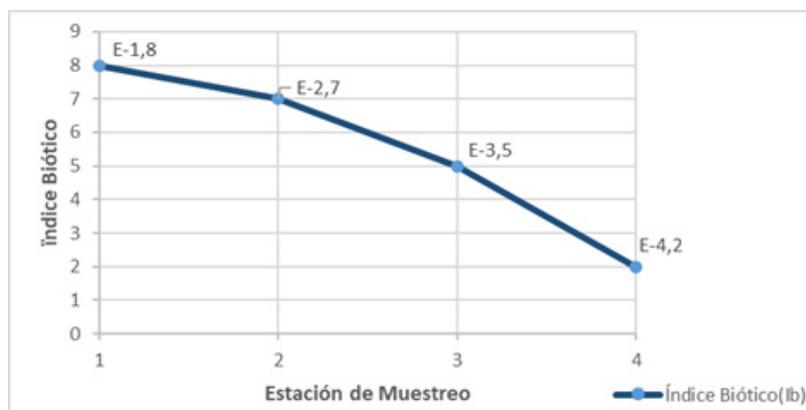
Estaciones de muestreo UNIDADES SISTEMATICAS	1		2		3		4	
	c	l	c	c	c	c	c	c
A. Taeniopterygidae								
B. Tricópteros- sin estuche	++	++	++					
B. Tricópteros con estuche	++	++	++					
Ephemerellidae								
C. Leptophlebiidae	+	+	+		+			
D. Aeschnidae (Naniaeschna)	+	+	+		+			
E. Elmidae	+	+	+		+			
E. Dytiscidae	+	+	+		+			
F. Chironomidae	+	+	+		+		+	
F. Simuliidae	+	+	+		+		+	
G. Planaria		+						
H. Oligoquetos					+		+	
I. Tubifex								+
Número Total de Unidades Sistemáticas.	11	11	10		6		4	
Índice Biótico	8	8	7		5		2	
Índice Biótico Promedio		8	7		5		2	

Fuente. Elaborado en base a resultados de trabajo de campo

c =	Facie Lótica	A.	Plecopteros
l =	Facie Léntica	B.	Trichopteros
+	Unidad Sistemática Presente	C.	Ephemerópteros
		D.	Odonatos
		E.	Coleopteros
		F.	Dipteros
		G.	Planaria
		H.	Oligoquetos
		I.	Tubifex

Figura 5

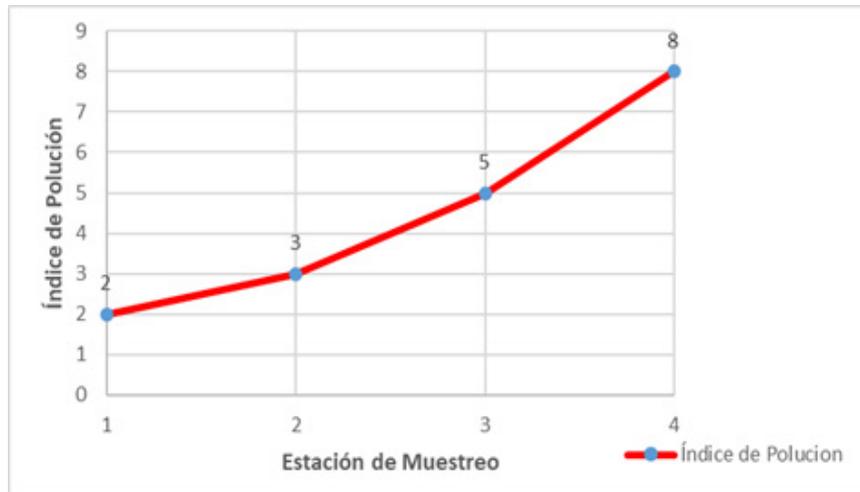
Índice Biótico del río Qochoq, según estaciones de muestreo



Fuente. Elaborado en base a resultados de trabajo de campo

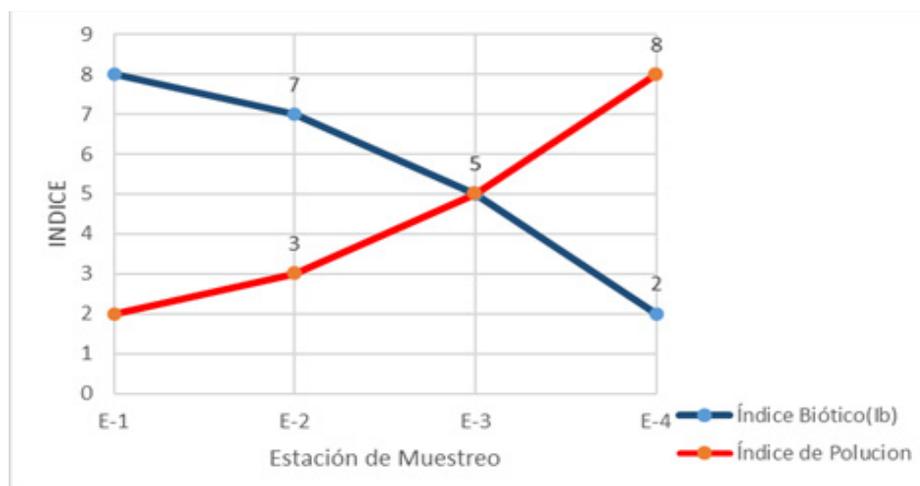
De los resultados mostrados en Tabla 5 y en la figura 5, se colige lo siguiente:

- De conformidad a la Tabla 3 (Tabla estándar de determinación de los índices bióticos); el Índice Biótico (Ib) determinado es alto, alcanza el 80 % del valor más alto de la escala, implica que, en el primer tramo, el río Qochoq evidencia aguas límpidas, altamente oxigenadas y aptas para todo uso.
- A medida que el río desciende aguas abajo los bioindicadores demuestran la pérdida del Índice Biótico (Ib) descendiendo a siete y cinco respectivamente en las estaciones dos y tres, explicando ello la pérdida de la calidad del agua.
- En la estación de muestreo cuatro, en la desembocadura al río Vilcanota, el río Qochoq después de haber recorrido 20.81 km pierde su calidad, teniendo un Índice Biótico (Ib) de 2, es decir, que este indicador ha perdido 4 veces su valor original.

Figura 6*Índice de Polución del río Qochoq*

Fuente. Elaborado en base a la información de la Tabla 6

El índice de polución al inicio del río es de dos, es decir se observa solo la presencia de detritus vegetales; en el último tramo, el índice de polución alcanza un valor de ocho, tipificado como un índice de polución muy importante debido a que el río Qochoq recibe aguas residuales, residuos sólidos, escombros, residuos agrícolas y pecuarios, detergentes y todo efluente de las actividades desarrolladas a lo largo de su cauce. El índice de polución se incrementa en un 400 % desde la primera estación de muestreo hasta su desembocadura.

Figura 7*Gráfico de Índice Biótico e Índice de Polución del río Qochoq*

Fuente. Elaborado en base a la información de las Tablas 5 y 6

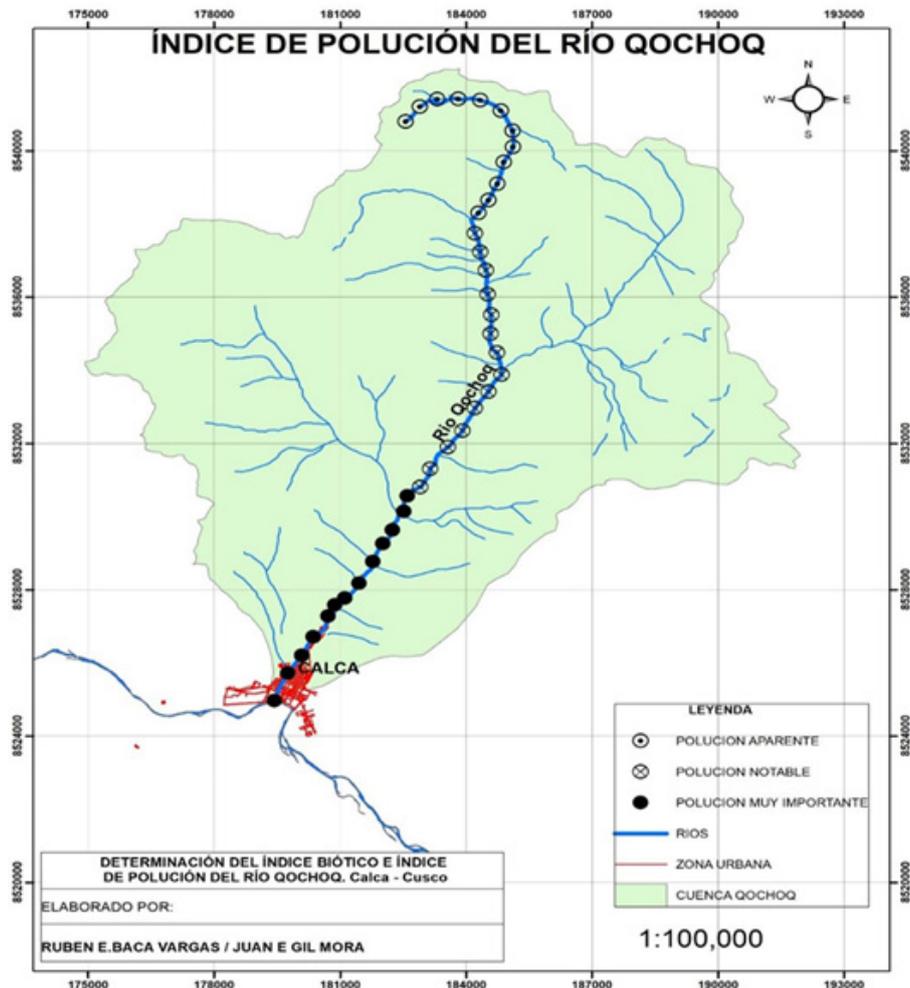
Tabla 6

Resultados del Índice de Calidad e Índice de Polución del Río Qochoq

Estaciones de Muestreo \ Índices	Índice Biótico (I _b)	Índice Biótico en Condiciones Ideales (I _n)	Índice de Polución (I _p) $I_p = I_n - I_b$	Calidad de Agua	Polución
1	8	10	2	ACEPTABLE	PRESENTE
2	7	10	3	ACEPTABLE	PRESENTE
3	5	10	5	DUDOSA	NOTABLE
4	2	10	8	PELIGROSA	MUY IMPORTANTE

Fuente. Elaborado en base a resultados de trabajos de campo

Figura 8

Índices de Polución para el río Qochoq

Fuente. Elaborado en base a resultados de trabajo de campo y gabinete.

La evaluación de la calidad del agua del río Qochoq utilizando los índices bióticos, evidencia los siguientes resultados:

- a. De los trabajos de campo y de la identificación de los macro invertebrados acuáticos en gabinete, se determinaron dos grupos de organismos acuáticos que tipifican nítidamente dos calidades de agua, tal como se muestra en las figuras 9 y 10.
- Aguas límpidas, altamente oxigenadas y con bajos índices de polución e índices bióticos altos: Ephemeropteros y Trichópteros.

- Aguas loticas en concentraciones pobres de oxígeno disuelto (OD) y altos índices de polución y con índices bióticos bajos: Simúlidos, Chironómidos, Tubificidos.
- b. Los macro invertebrados indicadores de la calidad de agua permitieron determinar variaciones de las condiciones ambientales en el río, puesto que la presencia o ausencia indican la aparición de variables ambientales que modifican su población, es el caso de la presencia de contaminación por actividades antrópicas.
- c. Las condiciones del medio acuático (velocidad de la corriente, naturaleza del sustrato de fondo, concentración de OD, carga de materia orgánica), condicionan la presencia o ausencia de los macro invertebrados indicadores. Es el caso de los Ephemeropteros para corrientes rápidas y alta concentración de OD e Hirudíneos, Oligoquetos y Chironómidos para corrientes lentas y escasa concentración de OD.
- d. En el análisis de la caracterización del río Qochoq (caudales, velocidad de flujo, sedimento de fondo, granulometría del cauce, pendiente, etc.) se identificaron en el río Qochoq las tres asociaciones de organismos;
 - Crenon: Un corto segmento del río que se inicia desde sus orígenes en los deshielos del nevado Colque Cruz a una altitud de 5 650 msnm con pendiente suave de 2.5 %, hasta la quebrada Llulluchayoc con un total de 5.53 km
 - Ritron: Caracterizado por la presencia de bolones de rocas en su cauce, velocidad del curso de agua superiores a 1.96 m/s. Este tramo tiene una longitud de 9.63 km, y se halla a una altitud de 3 840 msnm.
 - Potamon: Un segmento del río ubicado entre el ritron y la desembocadura en el río Vilcanota, la velocidad de flujo es de 0.63 m/s, una longitud de 5.63 km y se halla a una altitud de 2 929 msnm.
- e. El río Qochoq fluctúa su caudal entre las estaciones de creciente y de secas, en aproximadamente 20 veces.
- f. La cuenca del Río Qochoq con un área de escurrimiento de 162.85 km², descarga en el río Vilcanota un caudal promedio de 10.5 m³/s y 907 200 m³/día en el periodo lluvioso; lo que implica que este caudal aportado por el río Qochoq, podría ser almacenado para ser usado durante la época de déficit hídrico (mayo-noviembre) impulsando así una mejor gestión del recurso hídrico existente.

El río Qochoq en su recorrido de 20.81 km pierde drásticamente el índice biótico pasando de ocho en la estación de muestreo uno y alcanzando un índice biótico de dos en la estación cuatro, e incrementa súbitamente su índice de polución en un 400 %, evidenciando la pérdida de la calidad debido a una mala gestión existente en la cuenca; esto implica la pérdida de la calidad del agua de Aceptable en los inicios a Peligrosa al finalizar su curso.

Figura 9

Macro invertebrados indicadores de aguas límpidas, oxigenadas, bajos índices de polución e índices bióticos altos.



Trichóptero sin casa



Trichóptero con casa



Notonectidae



Dytiscido



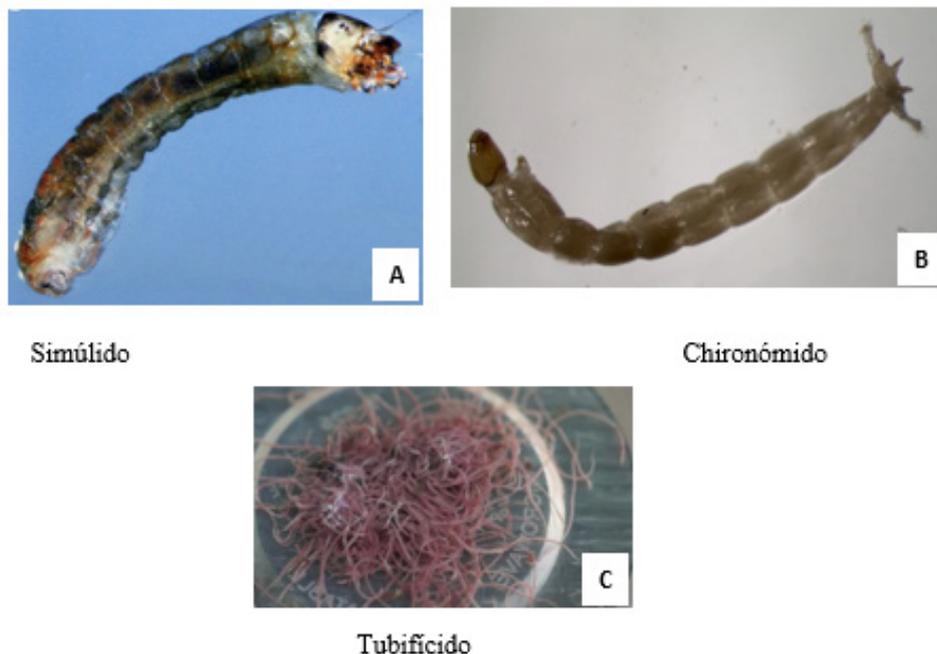
Ninfa de Plecoptero



Ephemeroptero

Figura 10

Macro invertebrados indicadores de aguas contaminadas, pobres en OD, altos índices de polución y con índices bióticos bajos.

**Discusión**

Zúñiga (1984), realizó investigación sobre Indicadores Biológicos de Calidad en la cuenca alta del río Cauca, Colombia e informa que en la zona de mayor enriquecimiento orgánico existe presencia masiva de Anélidos Oligoquetos, especialmente de la Familia Tubificidae en el sedimento bentónico; los índices bióticos de la zona son muy bajos, con valores inferiores a la unidad, lo cual corrobora el deterioro en la calidad de las aguas del río, así como el incremento de carga orgánica que favorece el desenvolvimiento de unos pocos individuos al déficit de oxígeno. En cambio, para el río Qochoq, encontramos una mayor diversidad con la presencia de Chironomidos, Simulidos, Oligoquetos y Tubifex, haciendo que el índice biótico sea de dos y los insectos sensibles a la polución, representados por grupos de Ephemeropteros, Plecópteros, Trichópteros y Odonatos hayan desaparecido en la estación cuatro; en esta estación de muestreo, el índice de polución es de ocho; por lo tanto, la calidad del agua es peligrosa y la contaminación muy importante.

Según estudios de Villamarín, 2008 y Acosta et al., 2009, los ríos que son fuente de recursos hídricos para las actividades económicas y de servicios ambientales, son poco estudiados y son los ecosistemas más amenazados y menos gestionados y están siendo deteriorados en su calidad; aspectos que son relevantes para el río Qochoq; pues este curso de agua, es altamente utilizado y nuestros

resultados señalan la pérdida de su calidad a partir del tramo dos; por lo tanto, se puede colegir que los ríos altoandinos en el Cusco también son similares en su escasa gestión y pérdida de su calidad.

La alta representatividad de las familias Chironomidae e Hydropsychidae (Trichoptera) se debe posiblemente a que están ampliamente distribuidas en todo tipo de corrientes de agua (McCafferty, 1981; Merritt & Cummins, 2008). Las familias Chironomidae, Simulidae y Ceratopogonidae (dípteros), toleran altos niveles de contaminación y por el contrario la Hydropsychidae tolera bajos niveles de contaminación. Nuestros estudios en el río Qochoq, ratifican esta conclusión; toda vez que los Trichópteros y Epheméropteros se hallan en las estaciones uno y dos en abundancia e incluso en la estación de muestreo tres, y se hallan ausentes en la estación cuatro.

La mayor abundancia de la familia Chironomidae está asociada a bajos niveles de oxígeno y altas concentraciones de materia orgánica en descomposición, corrobora con la designación dada a la familia como tolerantes a altos niveles de contaminación (Zúñiga, 1984). A esta aseveración, añadimos que, además de Chironómidos, se encontraron otros dípteros como Simúlidos y Culícidos en el último tramo del río Qochoq, significando ello una total pérdida de la calidad de las aguas del río.

Los resultados de la investigación para la determinación de los índices bióticos y de polución encontrados para el río Qochoq así como la metodología utilizada, pueden ser aplicables para la gestión de los recursos hídricos loticos en la zona andina del Perú; no obstante, podría tener limitaciones para cursos de agua de escasa velocidad como las existentes en la amazonía.

Conclusiones

Las actividades económicas en el área de influencia directa de la cuenca hacen que disminuya la calidad del agua y el Índice Biótico y se incremente los Índices de Polución del río Qochoq, son principalmente la polución orgánica por el inadecuado manejo y gestión de los residuos sólidos, no tratamiento de aguas residuales domésticas, uso de agroquímicos, la actividad pecuaria, especialmente de animales menores, que se desarrollan en las comunidades rurales y asentamientos humanos existentes, y, principalmente en la ciudad de Calca. Las diversas comunidades campesinas asentadas a lo largo del río y tributarios, desde la comunidad de T'otora hasta la desembocadura del río Qochoq en el río Vilcanota, constituyen los factores más agravantes para la pérdida de la calidad del río Qochoq, y podemos sintetizarlo en la siguiente forma:

- Por vertimientos de aguas residuales domésticas en la comunidad de T'otora y otras asentadas a orillas del río.

- Por disposición directa de residuos sólidos domiciliarios y restos de biomasa vegetal procedente de la poda de pastos y áreas verdes que están en las fajas marginales del río Qochoq en el sector urbano.
- Vertimiento directo de aguas residuales urbanas de las viviendas en Calca, asentadas a lo largo del río Qochoq sin tratamiento alguno, aportando materia orgánica, gasto importante del oxígeno disuelto e incremento de la DBO.
- Por los excrementos de animales menores y excremento de ganado vacuno proveniente de la actividad pecuaria que son transportados por escorrentía hacia las aguas del río Qochoq.

El grupo de Anélidos Oligoquetos, catalogado como resistente a la polución orgánica, muestra incremento a medida que el río avanza; en cambio los grupos de macro invertebrados como Hyallela, Ephemeroptera, Plecóptera, disminuyen en su población y desaparecen cuando el río recibe aguas cloacales, ricos en materia orgánica; por lo tanto, se concluye una gran especificidad de estos macro invertebrados con relación al hábitat, los ubican como los mejores indicadores de aguas limpias.

Referencias

- Acosta, R.; Ríos, B; Rieradevall, M; Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica* 28: 35-64.
- Barrios, E. & Puig, A. (2012). Catálogo y claves de identificación de organismos invertebrados utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, España. 225 p.
- Benavente Escobar, C. L., & Delgado Madera, G. F. (2011). Evaluación de peligros geológicos en la microcuenca de Ccochoc, provincia de Calca–región Cusco.
- Bonada, N., Prat, N., Resh, V.H. y Statzner, B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology* 51: 495–523.
- Campbell, Donald T. & Stanley, Julian. 1963. *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Wadsworth Publishing. 1r. edition.
- Carlotto, V., Gil, W., Cárdenas, J., & Chávez, R. (1996). Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geol. Nac, 65, 245.
- Cazau, Pablo. 2006. Introducción a la Investigación en Ciencias Sociales. Tercera Edición. Buenos Aires, marzo 2006. Módulo 404 Red de Psicología online. www.galeon.com/pcazau
- Cortelezzi, A., Ocón, C., López-van Oosterom, M. V., Cepeda, R. y Rodríguez-Capítulo, A. (2015). Nutrient Enrichment effect on macroinvertebrates in a lowland stream of Argentina. *Iheringia* 105(2): 228–234.
- Darrigran, G., Vilches, A., Legarralde, T. y Damborenea, C. (2007). Guía para el estudio de macroinvertebrados: I-Métodos de colecta y técnicas de fijación. ProBiota FCNyM (UNLP), La Plata. 86 p.
- Glass, Gene V; & Hopkins, Kenneth D. 1984. *Statistical methods in education and psychology*. Prentice-Hall (Englewood Cliffs, N.J.).
- Gómez, A.; Naranjo, D.; Martínez, A & Gallego, D. (2007). Calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo y el Salado (Girardot–Antioquia, Colombia). 112 p.
- Jorgensen, S.E. (2011). *Handbook of ecological models used in ecosystem and environmental management*. Denmark: Copenhagen University. 636 p.
- Karr, J; Chu, E. (1997). Biological Monitoring: essential foundation for ecological risk assessment. *Human and ecological risk assessment* 3: 993-1004.

- Kuhlmann, M. L., Johnscher Fornasaro, G., Ogura, L. L. e Imbimbo, H. R. V. (2012). Protocolo para o biomonitoramento com as comunidades bentónicas de ríos e reservatórios do Estado de São Paulo. CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo. 113 p.
- Kutschker, A., Brand, C., Miserendino, M.L. (2009). Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecología Austral*19:19-34.
- Maceda-Viega, A., Monroy, M., Navarro, E., Viscor, G., & de Sostoa, A. (2013). Metal concentrations and pathological responses of wild native fish exposed to sewage discharge in a Mediterranean river. *Science of the Total Environment*, 449, 9-19.
- McCafferty, W. (1981). *Aquatic Entomology*. Science Books International. 448 p.
- McCarthy, J. F. & Shugart, L. R. (1990). Biomarkers of environmental contamination. En McCarthy, J. F. & Shugart, L. R. (eds.). New York, Lewis Pub., 3-14.
- Merritt, R. W. & Cummins, K. W. (2008). *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall Hunt Publishing Company. 5th Edition. Dubuque. 1498 p.
- Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI, Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego-DGIAR. (2015). *Manual N° 5. Medición de agua*. Lima. 30 p.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMW'P/ Col*. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín. 1era. Edición. pp. 1-170.
- Seoanez, C. (1999). *Agua urbanas, tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento*. Mundiprensa, España. ISBN: 84-7114-545-6.
- Tufféry, G. Vernaux, J. (1967). *Incidencias Ecológicas de las Polución de las Aguas Corrientes. Reveladores Biológicos de la Polución. La Contaminación de las Aguas Continentales*. Obra Colectiva Presentada por Pesson. P. Madrid. España.
- Vázquez-Silva, G., Castro-Mejía, G., González-Mora, I., Pérez Rodríguez, R. y Castro-Barrera, T. (2006). *Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua*. *Contactos* 60: 41-48
- Verneaux, J. (1979). *Aplicación del Método de Los "Índices Bióticos" a Nivel de la Red Hidrográfica: Cartografía de la Calidad Biológica de las Aguas*. La Contaminación de las Aguas Continentales. Obra Colectiva Presentada por Pesson. P. Madrid. España.

- Villamarín, C. P. (2008). Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos del Ecuador y Perú. Diseño de un sistema de medida de la calidad de agua con índices multimétricos. Tesis Doc. Barcelona, ES. Universidad de Barcelona. 181 p.
- Zúñiga M. del C. (1984). Contaminación de Corrientes Acuáticas. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Departamento de Procesos Químicos y Biológicos. Sección de Saneamiento Ambiental. Santiago de Cali. Colombia.