

Evaluación de la calidad ecológica de los ríos Quirpinchaca y Cachimayu usando macroinvertebrados como bioindicadores de contaminación**Ecological quality evaluation of the Quirpinchaca and Cachimayu rivers using macroinvertebrates as contamination bioindicators**Nabor Moya*¹, Mayra Santander² y Beymar Fernández³^{1,2,3} *Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Instituto Experimental de Biología "Luis Adam Briañon"*

Recibido abril 04, 2019; Aceptado junio 04, 2019

Resumen

Los ríos son grandes centros de biodiversidad, pero también los más amenazados por distintas actividades antropogénicas. El caso particular del río Quirpinchaca que atraviesa por el centro de la ciudad de Sucre ha sufrido visiblemente serios daños y hasta ahora no existen estudios con base ecológica y técnica que permita evaluar y restaurarlo. Por ello este trabajo pretende evaluar la calidad ecológica del río Quirpinchaca (siete sitios) y Cachimayu (tres sitios) usando a los macroinvertebrados acuáticos como potenciales bioindicadores de contaminación apoyados con datos fisicoquímicos. Los índices bióticos usados fueron el BMWP/Bol, abundancia relativa de grupos sensibles (Ephemeroptera Plecoptera y Trichoptera) y de grupos tolerantes (Diptera). Como resultados relevantes, los tres índices bióticos indican que el río Quirpinchaca presenta calidad "muy crítica" desde las nacientes hasta la desembocadura al río Chaquimayu, mientras que este último río presenta calidades que varían desde calidad "buena" hasta calidad "muy crítica".

Los parámetros fisicoquímicos que mejor respondieron a la contaminación fueron el oxígeno disuelto y la demanda química de oxígeno, cuyos valores indican que el río Quirpinchaca presenta mayor grado de contaminación en el centro de la ciudad que en zonas menos pobladas como las nacientes del río y la confluencia con el río Cachimayu. Por otro lado, el río Cachimayu presenta mejores condiciones fisicoquímicas que el río Quirpinchaca. Consideramos que estos resultados podrían servir como una herramienta útil, sencilla y económica para monitorear espacial y temporalmente a cada uno de estos sitios estudiados y en futuros planes de gestión y restauración principalmente del río Quirpinchaca, cuya meta debería incluir la recuperación en riqueza y abundancia de taxones sensibles como los tiene el río Cachimayu.

Palabras Clave

Calidad de aguas, Índices bióticos, Río Quirpinchaca, Río Cachimayu, Macroinvertebrados acuáticos, Parámetros fisicoquímicos.

Citación: Moya N, Santander M & Fernández B. Evaluación de la calidad ecológica de los ríos Quirpinchaca y Cachimayu usando macroinvertebrados como bioindicadores de contaminación. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación* 2019, 17-19: 11-22

Abstract

Rivers are biodiversity hotspots, but also the most threatened ecosystems by human activities. Particularly Quirpinchaca River that flows through Sucre city center, has suffered serious damage and until now there are no studies with ecological and technical basis to evaluate and restore it. Therefore, this work aims to evaluate the ecological quality from Quirpinchaca River (seven sites) and Cachimayu River (three sites), using aquatic macroinvertebrates as potential bioindicators of contamination supported by physicochemical data. Biotic indices used were BMWP/Bol, relative abundance of intolerant taxa (Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera) and tolerant taxa (Diptera). As relevant results, the three biotic indices indicate that Quirpinchaca River presents “very critical” quality from the source to the mouth of Cachimayu River, while the Cachimayu River has qualities ranging from “very critical” to “good”. The physicochemical parameters that best responded to the contamination were the dissolved oxygen and the chemical oxygen demand, whose values indicate that the Quirpinchaca River presents a greater degree of pollution in the city center than in less populated areas such as the headwaters of the river and the confluence with the Cachimayu River. On the other hand, the Cachimayu River presents better physicochemical conditions than the Quirpinchaca River. We consider that these results could serve as a useful, single and economical tool to monitor spatially and temporally each studied sites and in future management and restoration plans mainly of the Quirpinchaca River, whose goal should include the recovery of richness and abundance of sensitive taxa like the Cachimayu River.

Keywords

Wáter quality, Biotic indices, Quirpinchaca river, Cachimayu river, Aquatic macroinvertebrates, Physicochemical parameters.

Introducción

Las aguas continentales (ríos, lagos, aguas subterráneas) ocupan solo cerca del 0.8% del total de la superficie del globo (Dudgeon et al., 2006), pese a esta pequeña superficie, concentran alrededor de 126.000 especies de animales que representan cerca del 9.5% del total de especies reconocidas globalmente (1.324.000 especies: UNEP, 2002). La mayoría de estas especies de animales de aguas continentales son invertebrados (75.5%), y entre ellas los insectos ocupan cerca del 60.4% (Balian et al., 2008).

Estos ecosistemas son los grandes centros de biodiversidad, pero también los más amenazados por las actividades humanas que se concentran mayormente alrededor de ellos. Todas estas actividades han llevado a una degradación extensiva de los ríos volviéndolos no sostenibles para proveer bienes y servicios (p.e. pérdida de calidad y disponibilidad de agua, inundaciones intensas, extinción de especies, cambios en la distribución y estructura de la biota acuática) (Le Roy Poff et al. 1997).

El reconocimiento de estos efectos adversos en los ríos ha impulsado iniciativas para su restauración; sin embargo, los estándares para la restauración de los ríos se hicieron para usos definidos, típicamente orientados hacia el hombre (p.e. agua potable). Este tipo de política probó ser muy útil en la lucha contra las fuentes puntuales de contaminación, pero fue pobremente adaptado al manejo integrado de los ecosistemas fluviales, en el que un enfoque holístico es necesario. Como consecuencia, mientras la calidad química del agua en aguas corrientes se mejoró considerablemente, la situación biológica e hidro-morfológica continuó su deterioro.

Consecuentemente, en Europa (Water Framework Directive, WFD 2000) y EEUU (Clean Water Act, 1972) han cambiado sus políticas sobre el agua, exigen ahora la restauración y mantenimiento de la “salud” del ecosistema acuático mediante la evaluación de sus características hidro-morfológicas, químicas y biológicas. Por ello, en países industrializados, la meta actualmente es no solo preservar estos ecosistemas, sino también rehabilitarlos y restaurar sus estructuras ecológicas naturales, funciones e integridad. Sin embargo esta meta llega tarde a la mayoría de los ambientes acuáticos de estos países.

Este no es el caso de países en desarrollo como Bolivia, donde muchos de los ríos alejados de los centros poblados (portadores de alta biodiversidad acuática) están todavía poco afectados por perturbaciones antrópicas. En estos casos, las políticas para el agua que pretenden prevenir los impactos económicos, sociales y ecológicos derivados de las perturbaciones, deberían fortalecerse de manera prioritaria. Sin embargo, las instancias de gestión aún no han desarrollado iniciativas al respecto, y tampoco a nivel científico y técnico ha habido el avance requerido.

Consecuentemente, es necesario desarrollar herramientas prácticas, efectivas y ecológicamente sanas usando enfoques basados en las estructuras biológicas para monitorear la calidad de los recursos hídricos (Hughes & Oberdorff 1999). Estas herramientas necesitan tener bases ecológicas, ser eficientes, rápidas y consistentemente aplicables a diferentes regiones ecológicas. Sin embargo, la adaptación efectiva de tales herramientas sobre amplias áreas geográficas requiere una comprensión detallada de los patrones de composición y distribución de las comunidades bióticas dentro y entre cuerpos de agua bajo condiciones naturales, y la naturaleza de los principales gradientes ambientales que los causan, o al menos explican estos patrones (Smogor & Angermeier 1999).

Esto permitirá comprender la respuesta de la biota acuática a los factores de estrés que pueden ser discriminados de las variaciones naturales.

Distintos países han empleado métodos biológicos sencillos de evaluación de calidad de aguas, como el método cualitativo BMWP (Equipo de Trabajo sobre Monitoreo Biológico), originalmente desarrollado en Inglaterra (Armitage et al., 1983), y fácilmente adaptado, aunque con ciertas limitaciones a países de Sudamérica p.e. Colombia (Roldán, 1999; Castillo-Figueroa, 2018), Brasil (Junqueira & Campos, 1998), Argentina (Fernández et al. 2002), Bolivia (p.e. Molina et al., 2008; Cammaerts et al., 2008; MMAyA, 2012), este método se basa sencillamente en la presencia de familias de macroinvertebrados y sus valores de tolerancia a la contaminación, cuya suma de los valores de tolerancia da un valor de índice de calidad de aguas.

Los macroinvertebrados bentónicos son de potencial interés debido a que ellos son diversos y abundantes, por ser sedentarios son sensibles a perturbaciones humanas, fáciles de muestrear y son buenos indicadores de las condiciones del hábitat de los ríos, actuando como componentes claves de la red trófica acuática (Vannote et al., 1980; Fore & Wisseman, 1996).

Otros métodos más robustos como índices multimétricos que usa variables según riqueza, composición, dominancia, tolerancia e incluso medidas ambientales también han sido desarrollados para nuestro país, se citan por ejemplo las desarrolladas por Moya et al. (2006) y Moya et al. (2007) para la cuenca alta del Río Isiboro-Sécure y Moya et al. (2011a) y Moya et al. (2011b) que incluyen otras regiones de Bolivia.

El río Quirpinchaca atraviesa por medio de la ciudad de Sucre que alberga alta densidad poblacional y por lo tanto un alto riesgo de mayores perturbaciones, por los desechos domésticos, agrícolas e industriales a lo largo de su eje, y aunque han surgido algunas iniciativas para recuperarlo, no existe una base ecológica y técnica sólida que permita a las instancias de gestión encarar esta tarea.

En este sentido, este trabajo pretende evaluar la calidad ecológica de las aguas del Río Quirpinchaca y Cachimayu mediante índices bióticos, usando comunidades de macroinvertebrados acuáticos como potenciales bioindicadores de contaminación, apoyados con parámetros fisicoquímicos.

Metodología

Área de estudio y sitios de muestreo

El estudio se realizó a lo largo del Río Quirpinchaca, desde sus nacientes hasta su desembocadura al Río Cachimayu, en ese trayecto se tomaron en cuenta siete sitios de muestreo (Figura 1), pasando por diferentes niveles de alteración del río provenientes de los desechos urbanos domésticos e industriales de la ciudad de Sucre, así como alteraciones por actividades agrícolas que se aprecian en los alrededores del río. Además de los siete sitios, se tomaron muestras en tres sitios de otro río considerado de referencia (Cachimayu), esto con el propósito de comparar la condición biológica del río Quirpinchaca con el Cachimayu, este último al no atravesar por la ciudad de Sucre, hipotéticamente presenta mejores condiciones naturales, aunque ambos ríos se juntan aproximadamente a 24 km de la ciudad de Sucre (Figura 1). Justo antes de que ambos ríos se junten, el río Cachimayu tiene un ancho húmedo promedio de 22 m comparado con 6 m del río Quirpinchaca, a pesar de esta clara diferencia, la comparación de la condición biológica es

razonable debido a que ambos ríos forman parte de la misma cuenca y las condiciones climáticas, geomorfológicas y tipo de sustrato son muy similares entre ellos.

Colecta de Macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados se colectaron durante la época seca (agosto y septiembre del 2018), tres muestras Surber, cada uno de 0.1m² se colectaron en los segmentos de rabión o rápidos, en lo posible con similares tipos de sustrato y profundidad entre 10 y 30 cm, según el protocolo estandarizado descrito por Karr & Chu (1999). Las tres muestras Surber en conjunto, se conservaron en frascos de 0.5 L con alcohol al 75%. Una vez en el laboratorio, los macroinvertebrados fueron lavadas con agua, separadas con tamiz de 0.50 mm e identificados hasta el nivel taxonómico de familia, excepto Oligochaeta, Ostracoda y Collembola; la identificación se realizó usando las claves de diagnóstico de Merrit & Cummins (1996) y Domínguez y Fernández (2009).

Datos ambientales

En cada sitio, se tomarán medidas ambientales como el ancho húmedo y total (m), la profundidad del agua (cm), velocidad de corriente (m/seg) (3 medidas), tipo de sustrato según la escala granulométrica de Wentworth (entre 50 a 100 medidas, cada una separada por 1 m en zigzag a lo largo del tramo).

Asimismo, se tomarán in situ medidas fisicoquímicas como la conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$), pH, sólidos disueltos totales (mg/L) y temperatura ($^{\circ}\text{C}$), todos estos con el método electrométrico usando un equipo multiparámetro modelo YSI professional series, la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) y la saturación de oxígeno disuelto (%) se midieron con el método electrométrico modelo EXTECH.

Asimismo en el laboratorio del Instituto de Aguas de la Universidad de San Francisco Xavier se midieron la concentración de Nitratos (mg/L) con el método fotométrico (diazotación) y la demanda química de oxígeno (mgO₂/L) con el método colorimétrico y coliformes totales (UFC/100mL) con el método de filtración por membrana. Cabe resaltar que las medidas fisicoquímicas y coliformes totales se midieron solo en seis sitios estratégicos de los diez sitios, esto debido al tiempo y el elevado costo que implican estos análisis.

Índices bióticos

Para el presente estudio se utilizó por un lado, el índice BMWP/Bol, desarrollado para Bolivia por el MMAyA (2012), con valores de tolerancia de las familias que varían de 1 a 10, este índice permite evaluar de manera puntual y sencilla el grado de contaminación que presenta cada sitio estudiado, mismos que pueden representarse mediante mapas de calidad del agua. Asimismo, se usaron variables que emplea el índice de integridad biótica (IBI) (Karr & Chu, 1999; Moya et al., 2011a) como la abundancia relativa de taxones intolerantes a contaminación (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) y abundancia relativa de grupos tolerantes a contaminación (Diptera).

Análisis de datos

El índice BMWP toma en cuenta datos cualitativos (presencia/ausencia) de familias de macroinvertebrados en cada uno de los sitios, el resultado final del índice en cada sitio se obtiene sumando los valores de tolerancia de las familias encontradas en cada uno de los sitios (Armitage et al., 1983; Roldán, 1999).

Cada uno de estos índices fueron comparados para ver las similitudes entre ellos, asimismo el valor de los índices entre sitios del río Quirpinchaca y los sitios del río Cachimayu fueron comparados mediante una prueba de t de student con distinto número de muestras en el programa SYSTAT v. 11.

Por otro lado, con el programa CANOCO v. 4.5, se realizó un Análisis de Correspondencia (AC) con el propósito de determinar si hay asociación entre las variables biológicas según la abundancia y composición con los diferentes sitios o ríos. El resultado del AC es un diagrama de ordenamiento formado por un sistema de ejes donde se muestran los sitios y los taxa. A través de este AC se espera por ejemplo que la distribución de las familias sensibles o tolerantes a la contaminación estén asociadas a sus correspondientes sitios de mejor calidad o mala calidad de aguas respectivamente.

Resultados y discusión

El río Quirpinchaca, en general presenta una riqueza de fauna de macroinvertebrados bastante pobre, apenas presenta entre 2 a 5 taxones (Tabla 1), entre ellas, las familias más abundantes son del orden Diptera, representados principalmente por la familia Chironomidae que es tolerante a la contaminación (Karr & Chu, 1999; Moya et al., 2007; Moya et al., 2011a; Moya et al., 2011b), por lo que predominan casi en todos los sitios excepto dos de los siete sitios, el sitio con mayor dominio de Chironomidae es el Q2 que presenta hasta 55674 ind/m², sitio ubicado en la zona Lajastambo, antes del ingreso al centro de la ciudad; a diferencia del Quirpinchaca, el Cachimayu presenta mayor número de taxones, que varía entre 6 y 12, siendo Chironomidae el más predominante solo en uno de los tres sitios estudiados; resalta que en ninguno de los siete sitios del río Quirpinchaca no se encontraron ni un solo individuo de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera ni Plecoptera, considerados entre los más sensibles a la contaminación (Karr & Chu, 1999; Moya et al., 2007; Moya et al., 2011a; Moya et al., 2011b), mientras que en el río Cachimayu, los Ephemeroptera y Trichoptera predominaron en dos de los tres sitios estudiados, en este río el tercer sitio (Cachi2), tiene predominancia de Chironomidae probablemente debido a que este sitio ya es resultado de la confluencia con el río Quirpinchaca (Figura 1),

siendo este último río el que aporta con mayor carga de materia orgánica y otros contaminantes que dan las condiciones para mayor predominancia de esta familia Tolerante.

En relación a las variables fisicoquímicas (Tabla 2), hay algunas variables como el pH, conductividad y sólidos totales que no muestran un patrón característico entre sitios ni entre los dos ríos.

El pH en ambos ríos es ligeramente alcalino, que varía entre 7.68 y 8.48 en el río Quirpinchaca y entre 7.50 y 7.86 en el río Cachimayu (Tabla 2). La conductividad es relativamente elevada en ambos ríos, varía entre 733 y 1305 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en el río Quirpinchaca y en el río Cachimayu entre 812 y 872 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Los sólidos disueltos totales varían entre 461.5 y 806 mg/L en el río Quirpinchaca y en el río Cachimayu varía entre 585 y 611 mg/L.

Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo en el río Quirpinchaca y Cachimayu. Los puntos rojos indican calidad “muy crítica”, naranja “crítica”, amarillo “dudosa” y verde “buena” según el índice biótico BMWP/Bol.

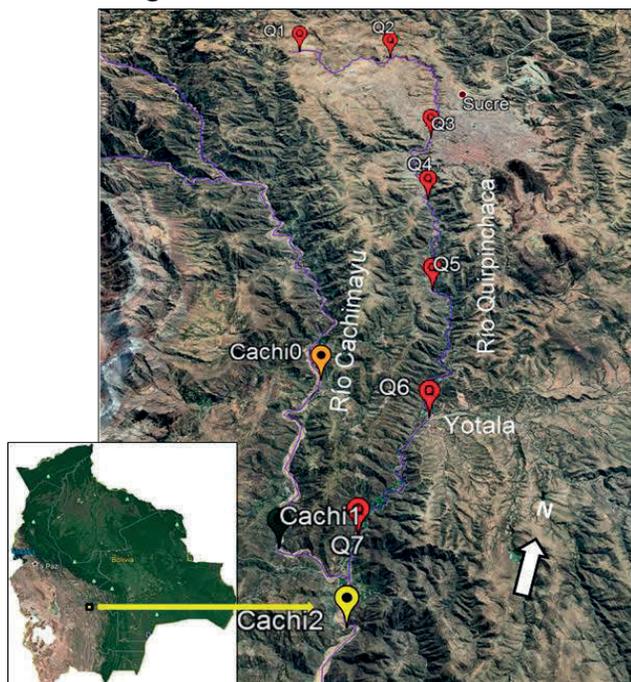


Tabla 1. Abundancia de macroinvertebrados acuáticos (ind/m²) encontrados en los ríos Quirpinchaca y Cachimayu

Taxa	Río Quirpinchaca							Río Cachimayu		
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Cachi0	Cachi1	Cachi2
ORDEN EPHEMEROPTERA										
<i>Baetidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	5141	81	585
<i>Leptohyphidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
ORDEN TRICHOPTERA										
<i>Hydropsychidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	7	1078	467
<i>Hydroptilidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	11	11	96
<i>Glossosomatidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15
ORDEN COLEOPTERA										
<i>Elmidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	4	152	104
ORDEN DIPTERA										
<i>Chironomidae</i>	200	55585	19	0	0	156	2370	81	178	11015
<i>Ephydriidae</i>	0	89	0	0	119	15	30	0	0	30
<i>Tipulidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
<i>Empididae</i>	0	0	0	0	0	0	0	104	4	0
<i>Simuliidae</i>	0	0	0	0	0	0	74	0	4	511
<i>Ceratopogonidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
<i>Psychodidae</i>	0	0	22	15	511	37	0	0	0	0
<i>Muscidae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
<i>Culicidae</i>	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLASE OLIGOCHAETA										
<i>COLLEMBOLA</i>	0	0	0	4	0	178	15	0	4	15
<i>OSTRACODA</i>	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	219	55674	41	19	630	393	2511	5348	1544	12852
N° de Taxa	3	2	2	2	2	5	5	6	12	11

El oxígeno disuelto (OD) muestra un patrón característico entre sitios del río Quirpinchaca, es así que el sitio Q2 (antes del ingreso a la ciudad de Sucre) (Figura 1) presenta mejores condiciones de OD con el valor más alto (93.6%, valores entre 80% y 100% indican mejor calidad). En el sitio Q4 (zona del Tejar, casi saliendo del centro de la ciudad de Sucre), el OD alcanza su valor más bajo con 9.9% (condición casi anóxica), a partir de este sitio hacia sitios río abajo, como era de esperar hay una recuperación gradual de esta condición, alcanzando hasta 75.7% en el sitio Q7, localidad Ñucchu, antes de unirse al río Cachimayu.

Los sitios del río Cachimayu presentan valores de OD por encima de 80%, lo que significa que están en condiciones aceptables.

La demanda química de oxígeno (DQO) muestra un patrón parecido, con condiciones favorables antes del ingreso a la ciudad (Q2, 682.5 mgO₂/L), condiciones desfavorables a la salida de la ciudad (Q4, 836 mgO₂/L), a partir de este sitio hay una leve mejoría hasta el sitio antes que confluya al río Cachimayu (Q7, 591.3 mgO₂/L). El río Cachimayu presenta valores entre 568.5 y 750.8 mgO₂/L, si bien estos valores son

relativamente más bajos que del río Quirpinchaca, estos valores de DQO están todavía por encima de los límites permisibles según la ley ambiental boliviana 1333 que acepta un máximo de 60 mg/L para la clase de Calidad “D”.

Los nitratos muestran un patrón algo parecido, con valor más bajo en el sitio Q2 (1.8mg/L), en este caso el valor más alto no corresponde al sitio Q4 (2.85 mg/L) como en los anteriores casos, más bien corresponde al sitio Q5 (8.55 mg/L) y con una disminución en el sitio Q7 (4.2 mg/L).

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y análisis de coliformes totales de los ríos Quirpinchaca y Cachimayu. Todos los parámetros se midieron *in situ* excepto Nitratos, DQO y coliformes totales que se analizaron en laboratorio.

Parámetro	método	Río Quirpinchaca							Río Cachimayu		
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	cachio	cachil	cachi2
pH	electrométrico YSI 556MPS	.	8.48	.	7.68	7.79	.	8.06	.	7.50	7.86
Temperatura (°C)	electrométrico YSI	.	26.3	.	26.5	22.7	.	27.7	.	20.0	21.4
Conductividad eléctrica específica (µs/cm)	electrométrico YSI	.	733	.	1264	735	.	1305	.	812	872
Sólidos Disueltos Totales (SDT) (mg/L)	electrométrico YSI	.	461.5	.	799.5	500	.	806	.	585	611
Oxígeno Disuelto (mg/L)	electrométrico-EXTECH	.	5.55	.	0.66	3.84	.	4.2	.	4.64	4.98
Oxígeno Disuelto (%)	electrométrico-EXTECH	.	93.6	.	9.9	65.6	.	75.7	.	81.8	81.4
Nitratos (NO ₃) mg/L	fotométrico (diazotación)	.	1.8	.	2.85	8.55	.	4.2	.	0.3	0.13
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mgO ₂ /L)	colorimétrico (910 COD o pHotoFlex)	.	682.5	.	836	742.5	.	591.3	.	568.5	750.8
Coliformes totales (UFC/100mL)	filtración por membrana	.	9532	.	id-1/100	id-1/100	.	4550	.	1900	2100
Altitud (msnm)	GPS	3020	2873	2744	2682	2621	2509	2420	2479	2418	2414
Turbiedad *	visual	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3
Profundidad (cm)	cinta métrica	10	10	12	23	38	19	15	65	35	40
Velocidad media (m/s)	tradicional/botella	0.0	0.0	0.4	0.8	0.8	0.5	0.6	0.5	0.7	0.9
Ancho húmedo medio (m)	cinta métrica	0.8	2.3	3.8	4.0	6.4	4.9	6.2	19.0	21.9	38.0
Perturbación agrícola (1-4)**	visual	2	3	2	3	3	3	3	1	2	2
Perturbación doméstica (1-4)**	visual	3	4	4	4	4	4	3	2	2	3
inestabilidad de sustrato (1-4)***	(Pfankuch)	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2
Tipo de sustrato:											
ROCA (%)	Wentworth	45.07	26.15	0.00	0.00	0.00	0.00	1.69	0.00	0.00	4.48
Bloque Grueso (%)	Wentworth	4.23	7.69	0.00	0.00	0.00	1.92	5.08	3.03	5.88	5.97
Bloque Fino (%)	Wentworth	7.04	3.08	1.61	3.45	3.85	0.00	5.08	0.00	17.65	5.97
Piedra Gruesa (%)	Wentworth	15.49	4.62	4.84	6.90	7.69	3.85	8.47	24.24	36.76	29.85
Piedra Fina (%)	Wentworth	8.45	3.08	20.97	27.59	25.00	19.23	25.42	42.42	29.41	25.37
Cascajo Grueso (%)	Wentworth	1.41	4.62	41.94	15.52	15.38	19.23	16.95	13.64	5.88	7.46
Cascajo Fino (%)	Wentworth	4.23	13.85	19.35	18.97	19.23	17.31	13.56	1.52	1.47	7.46
Grava Gruesa (%)	Wentworth	0.00	13.85	4.84	13.79	17.31	17.31	10.17	0.00	1.47	2.99
Grava Fina (%)	Wentworth	4.23	13.85	3.23	10.34	11.54	13.46	6.78	0.00	0.00	2.99
Arena Gruesa (%)	Wentworth	9.86	4.62	3.23	3.45	0.00	5.77	6.78	1.52	1.47	1.49
Arena Fina (%)	Wentworth	0.00	3.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.03	0.00	1.49
LIMO-ARCILLA (%)	Wentworth	0.00	1.54	0.00	0.00	0.00	1.92	0.00	10.61	0.00	4.48
Materia Orgánica (%)	Wentworth	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

id 1/100= incontables en dilución 1 a 100

* 2=clara, 3=turbia

** 1=muy poca, 4=mucha

*** 2=algo estable, 3=inestable

El resto de las variables ambientales de la tabla 2 no muestran patrones característicos entre sitios o entre ríos, más que el tamaño del río (ancho húmedo), siendo el río Cachimayu entre 3 a 4 veces más ancho que el río Quirpinchaca y por ende, superior en la profundidad, la velocidad de corriente y el caudal del río.

Los coliformes totales son mucho más elevados en el río Quirpinchaca, con valores más altos en el sitio Q2 (9532 ufc/100mL) y valor más bajo en el sitio Q7 (4550 ufc/100mL), hipotéticamente se esperaba valores más altos en el sitio Q4 o su sitio próximo Q5, pero en estos dos sitios, el método utilizado (filtración por membrana con dilución 1/100) no pudo cuantificar los coliformes totales, posiblemente por la excesiva saturación con coliformes. El río Cachimayu tiene valores mucho más bajos de coliformes totales entre 1900 y 2100 ufc/100ml, no obstante estos valores se encuentran por encima de los valores máximos permisibles por normas internacionales para clase de calidad "A" que es <1000ufc.

En relación a los índices bióticos, de acuerdo al índice BMWP/Bol, todos los sitios del río Quirpinchaca al tener valores inferiores a 16 corresponden a calidad "muy crítica" (Tablas 3 y 4) (Figura 1), mientras que los sitios del río Cachimayu tienen distintas clases de calidad, desde calidad "aceptable" (cachi2) hasta calidad "crítica" (cachi0).

De acuerdo a la prueba de *t*, la media del índice BMWP/Bol de los sitios del Quirpinchaca es significativamente inferior a la media de los sitios del río Cachimayu ($t=33.6$, $p<0.05$), lo que refleja la clara diferencia en el grado de contaminación entre ambos ríos.

De manera similar, de acuerdo al índice de abundancia relativa de grupos intolerantes a la contaminación (% EPT), se muestra que todos los sitios del río Quirpinchaca al tener 0% corresponden a calidad "muy crítica", mientras

que los sitios del río Cachimayu presentan calidades desde "crítica" (cachi2) a "buena" (cachi0) (Tablas 3 y 4). Para este índice no se aplicó la prueba estadística debido a los valores cero en todos los sitios del río Quirpinchaca.

Similar a los anteriores índices, el índice de abundancia relativa del grupo más tolerante (% de Diptera), muestra que todos los sitios del río Quirpinchaca presentan calidad "muy crítica", mientras que los sitios del río Cachimayu presentan calidades desde "muy crítica" (Cachi2) hasta calidad "buena" (Cachi0) (Tablas 3 y 4).

En términos generales, los tres índices muestran resultados muy similares, con algunas diferencias que se presentan solo en el caso de dos sitios del río Cachimayu. Si bien el índice BMWP es el más ampliamente usado en diferentes países, aunque con leves diferencias particulares, la incorporación de otros índices sencillos como el % EPT y % Diptera que se proponen en este trabajo, pueden contribuir a la evaluación de calidad de aguas, pues estas similitudes ayudan a corroborar en la toma decisiones cuando se trata de definir la calidad de aguas.

Haciendo un análisis entre los parámetros fisicoquímicos con los índices bióticos, estos últimos resultan más fiables en la evaluación de calidad de aguas, pues los parámetros fisicoquímicos presentan amplia variabilidad entre sitios y no siempre hay similitud en respuesta entre los diferentes parámetros, como por ejemplo entre pH, nitratos, OD y DQO, en cambio los índices bióticos muestran mayores similitudes, por ejemplo con la contaminación visual que se aprecia en cada sitio.

Estas ventajas se deben a que los organismos, responden de forma positiva o negativa a las alteraciones provocadas en su hábitat, no solo de forma momentánea sino a mayor periodo de tiempo, debido a que sus ciclos de vida pueden durar meses o años.

Es decir, los datos fisicoquímicos pueden variar de un momento a otro y de un lugar a otro, dependiendo de la carga de efluentes residuales, la contribución de agua de lluvias u otras condiciones ambientales, mientras que la respuesta de los organismos a estos cambios es más estable y por periodos más prolongados.

Tabla 3. Clases de calidad de aguas del río Quirpinchaca y Cachimayu según tres índices bióticos. Rojo=calidad muy crítica, naranja=crítica, amarillo=dudosa, verde=aceptable, azul=calidad buena

índices	Río Quirpinchaca							Río Cachimayu		
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Cachi 0	Cachi 1	Cachi 2
BMWP/Bol	8	4	8	7	8	11	13	28	61	46
%EPT	0	0	0	0	0	0	0	96.5	77.5	9
% Diptera	95	100	100	80	100	53	99	3.5	12.5	90

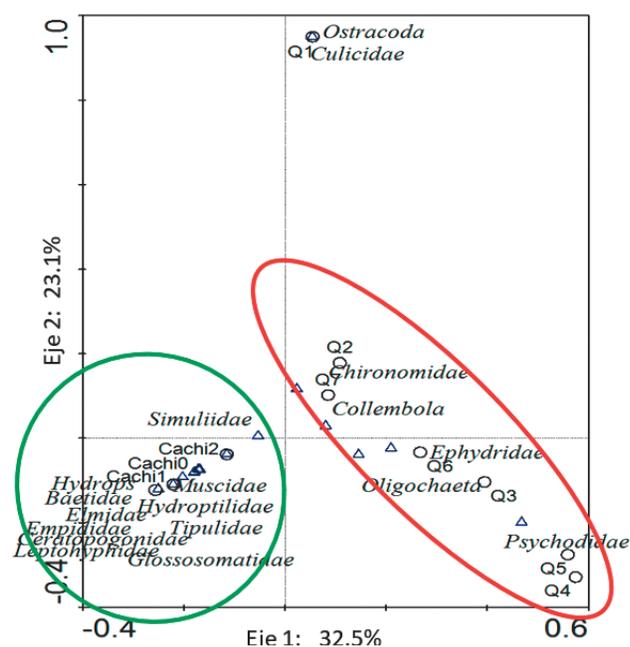
Tabla 4. Clases de calidad y los valores asignados a cada uno de los tres índices bióticos. Los valores para BMWP/Bol provienen de MMAyA (2012).

índices	Calidad de aguas				
	buena	aceptable	dudosa	crítica	Muy crítica
BMWP/Bol	>100	61-100	36-60	16-35	<16
%EPT	>81	41-80	11-40	1-10	<1
% DIPTERA	<10	11-20	21-40	41-50	>50

El diagrama de ordenación según el análisis de correspondencia, indica que los dos primeros ejes explican el 56% de la variación acumulada entre datos de familias, en el cuadrante I y II se muestran los siete sitios del río Quirpinchaca (Figura 2), representados principalmente por familias tolerantes a la contaminación, los taxones que caracterizan al sitio Q1 son Culicidae y Ostracoda, los sitios Q2 y Q7 están más representados por Chironomidae, los sitios Q3, Q4, Q5 están más representados por la familia Psychodidae y el sitio Q6 está más representado por la familia Ephydriidae y la Clase Oligochaeta, cabe indicar que estos taxones del río Quirpinchaca, están representados en su

mayoría por dípteros que son considerados entre los más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Chironomidae, Ephydriidae, Culicidae y Ephydriidae tienen los valores más bajos de tolerancia según el índice BMWP para Inglaterra (Armitage et al., 1983), para Colombia (Roldán, 1999) y para Bolivia (MMAyA, 2012). Por otro lado, los sitios del río Cachimayu que se muestran en el cuadrante III del diagrama (Figura 2), están más representados por familias del orden Ephemeroptera y Trichoptera que son los más sensibles a la contaminación (p.e. Moya et al. 2007; Moya et al, 2011a).

Figura 2. Diagrama de ordenación según el Análisis de Correspondencia entre la abundancia y composición de macroinvertebrados y los sitios. Los códigos Q representan a los sitios del río Quirpinchaca y los códigos cachi representan a sitios del río Cachimayu.



Llama la atención que en este estudio, un río de referencia como el Cachimayu no presente ningún ejemplar del orden Plecoptera, considerado uno de los más sensibles a la contaminación (p.e. Karr & Chu, 1999; Roldán, 1999); en otro estudio correspondiente a la misma ecoregión (valles interandinos de Bolivia)

se encontró ejemplares de este orden, sobre todo en sitios de referencia (poco alterados) (Moya et al, 2011b), esto sugiere que el río Cachimayu ya presenta algún grado de disminución de su condición biológica.

Una eventual restauración del río Quirpinchaca debería lograr como meta importante, la recuperación de taxones sensibles a la contaminación, como son los grupos Ephemeroptera y Trichoptera así como los tiene el río Cachimayu, una meta posterior, aunque más difícil, debería conseguir que la abundancia relativa de los taxones sensibles supere a la abundancia relativa de los taxones tolerantes como son los Diptera que actualmente son los más dominantes en el río Quirpinchaca.

Conclusiones

En este trabajo, se econtró que el río Quirpinchaca a lo largo de su curso presenta una fauna bentónica bastante pobre, que no pasa de cinco taxones, siendo la mayoría de ellos tolerantes a la contaminación, mientras que el río Cachimayu si bien tambien presenta una fauna relativamente pobre (hasta 12 taxones), la mayoría de ellos corresponde a órdenes que son sensibles a la contaminación.

Los parámetros fisicoquímicos que mejor respondieron a la contaminación son el oxígeno disuelto y la demanda química de oxígeno, cuyos valores indican que en el río Quirpinchaca, los sitios más alterados (contaminados) se encuentran en el centro de la ciudad que en zonas menos pobladas como las nacientes del río y la confluencia con el río Cachimayu. Asimismo, el río Cachimayu presenta mejores condiciones fisicoquímicas que el río Quirpinchaca.

La cantidad de coliformes fecales si bien son mucho menores en el río Cachimayu que en Quirpinchaca, estos valores por ser superiores a 1000ufc/100mL indican que hay contaminación por coliformes.

Los índices bióticos parecen tener mejor y similar respuesta a la contaminación, pues los tres índices bióticos (BMWP/Bol, %EPT, %Diptera) indican que los 7 sitios del río Quirpinchaca presentan calidad “muy crítica”, si bien río abajo de la ciudad hay leve tendencia de mejoría (aumento del valor del índice BMWP/Bol) , esto es insuficiente para salir de la calidad mencionada. Por otro lado, el río Cachimayu presenta índices que varían desde calidad “muy crítica” hasta calidad “buena”. Esta variación sugiere estudiar más sitios tanto río arriba y abajo de los colectados para tener mejor aproximación para este río.

Los planes de gestión municipal con objetivos de mejorar o restaurar estos ecosistemas son necesarios, y para ello, consideramos que estos resultados pueden servir como una herramienta sencilla y económica para monitorear espacial y temporalmente a cada uno de estos sitios estudiados.

Agradecimientos

Agradecemos a la Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología por el financiamiento de este proyecto, a la Facultad de Ciencias Químico-Farmacéuticas y Carrera de Biología de la USFX por el apoyo logístico; así como al Instituto de Aguas de la Facultad de Ingeniería Civil por el apoyo con los análisis fisicoquímicos de las muestras.

Bibliografía

- Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F. & Furse, M. T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*. 17(3), 333-347.
- Balian, E.V., Segers, H. Léveque, C. & Martens, K. (2008). The Freshwater animal diversity assessment: an overview of the results. *Hydrobiologia* 595, 627-637.

Cammaerts, D., Cammaerts, R., Riboux, A., Vargas, M. & Laviolette, F. (2008). Bioindicación de la calidad de los cursos de agua del valle central de Tarija (Bolivia) mediante macroinvertebrados acuáticos. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental*, 22:19-40.

Castillo-Figueroa, D., Garzón-Salamanca, L.L. & Albarracín-Caro, J.F. (2018). Aquatic macroinvertebrates as water quality bioindicators in Colombia: A systematic review. *Neotropical Biology and Conservation*, 13:235-248.

Domínguez, E. & Fernández, H.R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y Biología. Fundación Miguel Lillo. Tucumán, Argentina.

Dudgeon D., Arthington A.H., Gessner M.O., Kawabata Z.-I., Knowler D.J., Lévêque C., Naiman R.J., Prieur-Richard A.-H., Soto D., Stiassny M.L.J. & Sullivan C.A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81, 163-182.

Fernández, H.R., Romero, F., Vece, M.B., Manzo V., Nieto, C. & Orce, M. (2002). Evaluación de tres índices bióticos en un río subtropical de montaña (Tucumán - Argentina). *Limnetica*, 21(1-2): 1-13.

Fore, L.S. & Wisseman, R.W. (1996). Assessing invertebrate responses to human activities: evaluating alternative approaches. *Journal of the North American Benthological Society* 5, 212-231.

Hughes, R.M. & Oberdorff, T. (1999). Applications of IBI Concepts and Metrics to Waters Outside the United States and Canada. Pages 79-83. In *Assessment Approaches for Estimating Biological Integrity using Fish Assemblages*. Thomas P. Simon (ed.). Lewis Press, Boca Raton, FL, USA.

Junqueira, V.M. & Campos, S.C.M. (1998). Adaptation of the BMWP method for water quality evaluation to Rio das Velhas watershed (Minas Gerais, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 10: 125-135.

Karr, J.R. & Chu, E.W. (1999). Restoring life in Running Waters: Better Biological Monitoring. Island Press, Washington DC.

LeRoy Poff, N., Allan, D., Bain, M.B., Karr, J.R., Prestegard, K.L., Richter, B.D., Sparks, R.E. & Stromberg, J.C. (1997). The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration. *Bioscience*, 47: 769-784.

Merrit, R. & Cummins, K.W. (1996). Aquatic Insects of North America. Second edition. Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2012). Guía para la evaluación de la calidad acuática mediante el índice BMWP/Bol. MMAyA, Bolivia.

Molina, C.I., Gibon, F.-M., Pinto, J. & Rosales, C. (2008). Estructura de macroinvertebrados acuáticos en un río altoandino de la cordillera real, Bolivia: variación anual y longitudinal en relación a factores ambientales. *Ecología Aplicada* 7:105-116

Moya, N. & Oberdorff, T. (2006). Índice multimétrico de Integridad biótica béntica para la cuenca del río Chipiriri, Cochabamba-Bolivia. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 19:1-11.

Moya, N., Tomanova, S., & Oberdorff, T. (2007). Initial development of a multi-metric index based on aquatic macroinvertebrates to assess streams condition in the Upper Isiboro-Sécure Basin, Bolivian Amazon. *Hydrobiologia*, 589, 107-116.

Moya, N., Hughes, R. M., Domínguez, E., Gibon, F.-M., Goitia, E., & Oberdorff, T. (2011a). Macroinvertebrate-based multimetric predictive models for evaluating the human impact on biotic condition of Bolivian streams. *Ecological Indicators*, 11, 840–847.

Moya, N., Domínguez, E., Goitia, E. & Oberdorff, T. (2011b). Desarrollo de un índice multimétrico para evaluar a integridad biológica en ríos de los valles interandinos de Bolivia. *Ecología Austral*, 21: 135-147.

Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 23 (88): 375-387.

Smogor, R.A. & Angermeier, P.L. (1999). Effects of drainage basin and anthropogenic disturbance on relations between stream size and IBI metrics in Virginia. Pages 249-272 in Thomas P. Simon, editor. *Assessment Approaches for Estimating Biological Integrity using Fish Assemblages*. Lewis Press, Boca Raton, FL, USA.

United Nations Environmental Programme. (2002). *Global environmental outlook 3*. Earthprint Ltd., Stevenage, Hertfordshire, England.

Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37, 130-137.