

Evaluación de la calidad de agua del río Shilcayo, mediante la diversidad de insectos acuáticos, Tarapoto, Perú

Bogner Garcia Sinti

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Evaluación de la calidad de agua del río Shilcayo, mediante la diversidad de insectos acuáticos, Tarapoto, Perú

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Bogner Garcia Sinti

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2016

Evaluación de la calidad de agua del río Shilcayo, mediante la diversidad de insectos acuáticos, Tarapoto, Perú

Bogner García Sinti

Resumen. Los ríos son una importante fuente de vida y belleza escénica para las ciudades aledañas, los mismos al estar contaminadas afectan la biodiversidad y su calidad. Se evaluó la calidad de agua del río Shilcayo con el objetivo de establecer las variaciones de los parámetros de calidad del agua con respecto a focos de contaminación por aguas residuales identificadas. Se analizó la riqueza y estructura de las comunidades de insectos y la variación de éstas con respecto a focos de contaminación identificados. Se realizó la recolecta de insectos durante las horas de la mañana por tres meses en ocho estaciones de 1×2 metros y se procedió a la identificación después de cada colecta. Los datos se analizaron con el uso de índices de diversidad y calidad de agua: riqueza específica, índice de Margalef, índice de Shannon-Wiener, índice de Simpson, similitud de Sorensen, "Biological Monitoring Working Party" adaptado para Perú, el índice biótico de familias y el índice de los órdenes ephemeroptera, plecoptera y trichoptera. Los resultados muestran una disminución en la diversidad de insectos después de los focos de contaminación desde 3.67 a 1.13 con el índice de Margalef, así mismo el índice de Simpson muestra el aumento en la dominancia de 25 al 66%. La calidad de agua resultó buena río arriba y de calidad mala en la última estación río abajo. El indicador de las órdenes ephemeroptera, trichoptera y plecoptera no muestra resultados similares con respecto a los otros indicadores de calidad de agua.

Palabras clave: Bioindicadores, índices bióticos, riqueza.

Abstract. Rivers are an important source of life and scenic beauty for the surrounding cities; if contaminated, these affect the biodiversity and aesthetics. Shilcayo river quality was evaluated to document changes in the parameters of river water quality with respect to identified sources of sewage. Richness and structure of insects communities and the variation of these insects sampling was carried out in the morning over three months at eight 1×2 meters stations followed by identification after each collection. Species richness, Margalef index, Shannon-Wiener index, Simpson index, Sorensen similarity, "Biological Monitoring Working Party", ephemeroptera, trichoptera and plecoptera index, the biotic index families and physical parameters of the water itself was analyzed. Invertebrate diversity decreased downstream from contamination sources; 3.67 to 1.13 with the Margalef index and Simpson index showed increasing dominance from 25 to 66%. Water quality was good upstream decreasing to poor at the lowest station. The index of ephemeroptera, trichoptera and plecoptera orders not show similar results with regard to other indicators of water quality.

Key words: Biomarkers, biotic indices, richness.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
4. CONCLUSIONES.....	19
5. RECOMENDACIONES.....	20
6. LITERATURA CITADA	21
7. ANEXOS	24

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Niveles de calidad de agua según el índice biótico BMWP.....	7
2. Niveles de calidad de agua según el Índice Biótico de Familias (IBF).....	7
3. Clasificación de la calidad del agua según el induce EPT.	8
4. Abundancia de individuos por orden y familia en el río Shilcayo.	9
5. Número de individuos por estaciones de muestreo en el río Shilcayo.	10
6. Valores de la dominancia de Simpson para las estaciones.....	12
7. Similitud de Sorensen cualitativo entre los puntos de muestreo.	13
8. Similitud de Sorensen cuantitativo entre los puntos de muestreo.	13
9. Distribución de las familias de insectos por estaciones.	14
10. “Biological Monitoring Working Party” adaptado para Peru (BMWP). ..	15
11. Comparación de bioindicadores sugeridos con el indicador BMWP.....	16
12. Valores de calidad de agua por estación.	17
13. Valores de calidad de agua del indicador EPT.....	17
14. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Shilcayo.	18
Figuras	Página
1. Mapa de localización de las estaciones de muestreo en el río Shilcayo. ..	3
2. Diversidad de Margalef por estaciones de muestreo en el río Shilcayo....	11
3. Valores del índice de Shannon-Wiener.....	12
Anexos	Página
1. Valores de sensibilidad de los insectos para el índice BMWP.	24
2. Grado de sensibilidad por familia para índice biótico de familias (IBF)..	25
3. Test estadístico de Hutcheson para los valores de Shannon-Wiener.	26
4. Estaciones de muestreo en el río Shilcayo, Perú.	26

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación por vertimiento de aguas residuales y desechos sólidos, es uno de los muchos problemas ambientales más comunes que afecta la integridad de los ríos. Hay ciudades cuyo desarrollo está asociado al uso de cuencas sobre la cual no rigen suficientes regulaciones para su protección (Rodríguez, Oliver, López y Barragán, 2013). Se encuentran ciudades influenciadas por la insuficiencia o la ausencia de infraestructura sanitaria, representando riesgos para la salud poblacional de contraer enfermedades de vías respiratorias y del tracto digestivo (River et al., 2007). El deterioro ambiental se ve acelerado por la contaminación, incidiendo en la eutrofización de cuerpos de agua, afectando la biodiversidad y comunidades aledañas (Rodríguez et al., 2013).

El ámbito de influencia del presente estudio es el curso principal del río Shilcayo. La microcuenca del río Shilcayo se encuentra en la zona de amortiguamiento del Área de Conservación Regional Cordillera Escalera (ACR) y es lugar de visita para jóvenes con fines de recreación e investigación (Juver, 2015). El ACR Cordillera Escalera cuenta con 149,870 hectáreas de superficie, un rango de altitud entre 700 y 320 metros, un régimen pluvial variable de 1,400 mm al año y temperatura oscilante alrededor 26.2 °C; sobre las cuales hay poca consolidación sobre un plan de manejo integral para garantizar la gestión y conservación de los recursos del ecosistema y la biodiversidad que alberga la microcuenca (Vecco et al., 2014).

El río Shilcayo es una de las fuentes para suplir parte de la demanda de agua potable de la ciudad de Tarapoto, el caudal del río es de 350 L/s. De las cuales la empresa Emapa San Martín capta 60 L/s de la cuenca alta, para abastecer de agua potable a los usuarios de Cercado y barrio Huayco de la ciudad de Tarapoto (Emapa San Martín S.A, 2016).

La microcuenca del río Shilcayo es una zona excepcional para conservar la biodiversidad en la región San Martín, debido a su ubicación transicional entre el bosque húmedo y el bosque seco tropical. La zona alberga varias especies endémicas de ave, hábitat para los helechos endémicos y un refugio para los anuros de la Amazonia (Vecco, 2015).

La cuenca alta tiene poca intervención humana y es una de las principales cuencas aportadoras de agua para la ciudad de Tarapoto. La cuenca media comprende desde la captación de agua hasta el centro poblado Villa Autónoma, siendo esta área utilizada como zona recreativa. La cuenca baja comprende desde el centro poblado Villa Autónoma hasta la desembocadura al río Cumbaza; esta zona es la más impactada debido al aumento demográfico. Las familias construyen sus casas en las riberas del río y vierten sus desagües directamente al agua. El agua del río es también usado para lavar ropas y vehículos motorizados alterando el estado del ecosistema acuático.

El río es afectado por descargas de aguas residuales urbanas y desechos sólidos desde diferentes puntos de contaminación a lo largo del cauce. Se han encontrado fuentes de contaminaciones puntuales y difusas desde la cuenca media, causando contaminación fisicoquímica y microbiológica (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2015). La disposición final de aguas residuales de ambos distritos, son descargadas en su totalidad al río Shilcayo y río Cumbaza. Las descargas no tienen tratamiento previo, produciendo contaminación de estos ríos; afectando la salud comunitaria, la fauna circundante y al ambiente. Dichas descargas están ubicadas en zonas suburbanas y aguas abajo (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2011).

Las metodologías que frecuentemente se emplean para el estudio y monitoreo de la calidad de cuerpos de agua, son en su mayoría basadas en análisis de parámetros fisicoquímicos. Sin embargo los ríos albergan organismos que presentan sensibilidad a la contaminación o alteración al ecosistema y pueden ser usadas como bioindicadores. Las metodologías que involucran el uso de insectos acuáticos como bioindicadores, han demostrado su total eficiencia en la identificación de la alteración y contaminación del recurso hídrico (Muñoz, Naranjo, Garcés y Gonzales, 2003).

Los índices bióticos poseen varias ventajas evidentes: son organismos fácilmente observables y de fácil muestreo; existen metodologías estandarizadas con insumos, materiales y equipos de bajo costo al comparar con los análisis físico-químicos. La aplicación es más rápida, muestra afecciones hechas tiempo atrás y están adaptadas a ciertas características del agua; mientras las metodologías físico-químicas sólo muestran afecciones del momento y deben realizarse con mayor frecuencia. Al utilizar metodologías a nivel de familias no se requieren de especialistas en la identificación. La mayoría de los organismos son sedentarios (Perez, 1999).

La evaluación de la calidad de agua del río Shilcayo mediante el análisis de la diversidad de insectos acuáticos, tuvo los siguientes objetivos:

- Analizar la riqueza y estructura de las comunidades de insectos, y la variación de dichos índices con respecto a focos identificados de contaminación.
- Establecer las variaciones de los índices calidad del agua del río Shilcayo con respecto a focos de contaminación identificados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de las estaciones de muestreo. Para definir las estaciones de muestreo se realizó un recorrido a lo largo del río (6.4 km) para identificar las zonas de descargas de aguas residuales y el estado de los bosques ribereños. Se realizó las recolectas en cinco estaciones distribuidas a lo largo del río comprendidas entre la cuenca alta, media y baja (Figura 1). Se seleccionó los cinco puntos de muestreo para evaluar los diferentes niveles de contaminación a lo largo del río.



Figura 1. Mapa de localización de las estaciones de muestreo en el río Shilcayo.

Estación Bocatoma del río Shilcayo. Esta estación se ubica en la cuenca alta, sin descargas evidentes de contaminación. Los bosques ribereños se observan en buen estado de conservación y se identifica un bosque primario del tipo húmedo premontano tropical (Holdridge, 1987). La estación está ubicada entre los bosques primarios del área de conservación de la cordillera escalera. Esta estación se ubica en las coordenadas UTM: X=351070, Y=9286119 y una altitud de 412 msnm.

Estación Centro Urku. Estación ubicada en la cuenca media, a alturas del Centro de Rescate Urku, sin descargas evidentes de contaminación. Los bosques ribereños se asocian al ecosistema de la cuenca alta, predominancia de bosques secundarios y relictos de bosques primarios. Esta estación se ubica en las coordenadas UTM: X=350591, Y=9285257 y una altitud de 384 msnm.

Estación Hotel Río Shilcayo. Estación ubicada en la cuenca baja, a alturas del centro poblado Villa autónoma y del hotel Río Shilcayo, cuenta con foco de contaminación de aguas negras y dos puntos de muestreo, antes y después del foco contaminante. Ambos puntos de muestreo están distanciados por 150 metros aproximadamente. La estación cuenta con bosque de 100 metros laterales al lado derecho del río y al lado opuesto sólo se observan árboles en la ribera. Esta estación se ubica en las coordenadas UTM: X=350285, Y=9283165 y una altitud de 329 msnm.

Estación Electro Oriente. Estación ubicada en la cuenca baja, a alturas de la empresa eléctrica Electro Oriente. La estación muestra contaminación por aguas residuales y contaminación difusa por desechos sólidos. Se estableció dos puntos de muestreo, antes y después del foco contaminante, distanciados por 150 metros de longitud. Se observan árboles sólo en las orillas del río. Esta estación se ubica en las coordenadas UTM: X=349828, Y=9282188 y una altitud de 284 msnm.

Estación Desagüe de Red. Estación ubicada en la cuenca baja, con foco de contaminación de aguas negras y contaminación difusa de desechos sólidos. Se estableció dos puntos de muestreo, antes y después del foco contaminante, separadas por 150 metros entre las mismas. El lado izquierdo de la ribera río abajo está con árboles distantes; sin embargo el lado derecho está sin árboles y sólo se observan pastos. Se presencia erosión hídrica en cárcavas y bancos de tierra. Esta estación se ubica en las coordenadas UTM: X=349147, Y=9280298 y una altitud de 256 msnm.

Método de muestreo. Se hicieron evaluaciones previas para determinar el tiempo y área a evaluar por día, con el propósito de recolectar en las cinco estaciones durante la mañana y repetir el método por 20 días. Durante las colectas se exploró cuidadosamente cada uno de los hábitats posibles para formar una submuestra por muestreo. Estos hábitats incluyen el sustrato de fondo (piedra, arena, lodo), raíces y troncos sumergidos de árboles, sustratos artificiales o desechos sólidos como restos de basura. Se consideró el mismo esfuerzo de muestreo para cada estación y obtener resultados comparables. Las muestras se tomaron usando la red de mano, con dimensiones de 20 × 30 cm, la ideal para obtener la mayor diversidad debido a la facilidad de uso al momento del muestreo en forma de barrido y los demás microhábitats (Samanez et al., 2014).

Se consideró adecuado adoptar la metodología de colecta propuesta por Samanez y sus colaboradores debido a su estandarización y validación en los ríos amazónicos de Perú. Además la metodología requiere de materiales de bajo costo y accesibles al investigador.

Identificación de insectos. Los insectos fueron recolectados en recipientes con alcohol al 70%, la identificación se realizó en el laboratorio de Urku Estudios Amazónicos. Los individuos recolectados fueron identificados a nivel de familia, haciendo uso del estereoscopio y claves taxonómicas de Carrera & Fierro (2001), Hanson et al. (2010), Oscoz (2009), Palma (2013) & Pérez (2009).

Métodos para el análisis y cálculo de los índices e indicadores biológicos. Los índices bióticos fueron seleccionados considerando su aplicabilidad para evaluar la riqueza y estructura de la comunidad de insectos, así como también los indicadores biológicos para evaluar la calidad de agua fueron seleccionados aquellos que han mostrado su eficiencia en estudios de calidad de agua a nivel de familia y orden. Los índices calculados son: índice de Margalef, diversidad de Shannon-Wiener (H'), Dominancia de Simpson (D), Biological Monitoring Working Party adaptada a Perú (BMWP), el Índice Biótico de Familias (IBF) y el índice de las ordenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT).

Índice de Margalef. Este índice muestra la diversidad de la comunidad de insectos al transformar el número de los individuos de la muestra a una proporción, a la cual los individuos son añadidos por expansión de la muestra (Ecuación 1). Es difícil conocer el número total de las especies en una comunidad de individuos. Este índice se basa en la relación entre la cantidad de especies observadas (S) y el número total de individuos en la muestra (N). En este índice S incrementa con el tamaño de la muestra (Magurran, 2004).

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N} \quad [1]$$

Índice de Simpson. Mide la heterogeneidad de comunidades de individuos, al sumar las probabilidades de todas las comunidades en el ecosistema, se llega a la diversidad de Simpson (Batllori & Febles, 2007). Es también la probabilidad de dos individuos extraídos de una muestra, pertenezcan a la misma especie (Ecuación 2). Si ésta probabilidad resultante es alta, la comunidad de individuos es poco diversa. Este índice considera la abundancia de las especies más comunes en el ecosistema, si encontramos el mayor número de especies representadas en la muestra total de individuos su valor será cercano a 0 (su valor va de 0 a 1) (Bouza & Covarruibas, 2005). Es una medida de dominancia donde las especies comunes tienen mucho peso con respecto a las demás especies del lugar (Ferriol & Merle, 2012).

$$D = \sum p_i^2 \quad p_i = \frac{n_i}{N} \quad [2]$$

Donde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Índice de Shannon-Wiener. Mide la equidad de la comunidad de individuos estudiados (Teixeira et al., 2004). Considera la riqueza y abundancia de las especies encontradas en el ecosistema (Ferriol & Merle, 2012). Cuando usamos logaritmo con base 2, el índice resulta en unidades de bits/individuo (Ecuación 3). Para insectos en ecosistemas acuáticos el índice resulta un valor máximo de 4.5 (Pino et al., 2003). Este índice adquiere valores inferiores en aguas con contaminación aparente (Pino et al., 2003). Se realizó la prueba de t Hutcheson para determinar si las diversidades provenientes de las estaciones son diferentes. Las diferencias fueron reportadas como estadísticamente significativas cuando $p < 0.05$.

$$H' = - \sum p_i \ln p_i \quad [3]$$

Similitud de Sorensen cualitativo y cuantitativo. El índice muestra la semejanza con relación a la composición y abundancias de especies en dos muestras. Sorensen cualitativo (Ecuación 4) compara el número de especies compartidas con la media aritmética de las especies total de las muestras; Sorensen cuantitativo (Ecuación 5) no sólo relaciona el número de especies de la comunidad, también considera la abundancia de la misma (Instituto Alexander von Humboldt [IAvH], 2002).

$$I_{S \text{ cual}} = \frac{2c}{a + b} \quad [4] \quad I_{S \text{ cuant}} = \frac{2pN}{aN + bN} \quad [5]$$

Donde:

a= número de especie en el sitio a.

b= número de especies en el sitio b.

c= número de especies en ambos sitios a y b.

pN= número total de individuos presentes en el sitio A.

aN= número total de individuos presentes en el sitio A.

bN= sumatoria de la abundancia más baja de cada una de las especies compartidas entre ambos sitios (Magurran, 2004).

“Biological Monitoring Working Party” adaptado para Perú (BMWP). Índice de alta aplicabilidad y eficiencia para conocer la calidad del agua. La adaptación comprende en la adecuación de los puntajes y agregar nuevas familias que se encuentran en los ríos peruanos (Medina, 2007). Las familias recolectadas de los insectos son ordenados en 10 grupos, ordenados de menor a mayor tolerancia a la contaminación. La puntuación determina para cada familia según su sensibilidad a la contaminación, la puntuación oscila entre 10 y 1, el valor menor para las especies más tolerantes (Sánchez, 2005). También se puede analizar el impacto causado en los cuerpos de agua debido a la deforestación de los bosques (Gonzáles et al., 2013).

Cuadro 1. Niveles de calidad de agua según el índice biótico BMWP.

Rangos	Calidad del agua
>101	Aguas de calidad buena, muy limpias
61 -100	Aguas de calidad regular, contaminación moderada
36 - 60	Aguas de calidad mala, contaminadas
16 - 35	Aguas de calidad mala, muy contaminadas
< 15	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminada

Fuente: Medina (2007).

Índice Biótico de Familias. Reconoce los individuos a nivel de familia y son contabilizados por familia. Se ponderan la abundancia de cada familia al multiplicar por el valor asignado según el grado de sensibilidad a la contaminación (Cordero, 2015). Los valores asignados van desde cero a diez, siendo cero para los organismos más sensibles y el valor diez para los organismos que presentan menor sensibilidad (Ecuación 6). El valor final es obtenido de la sumatoria de los valores obtenidos por cada familia y por cada estación (Sermeño et al., 2010).

$$IBF = \frac{1}{N} \sum n_i \times t_i \quad [6]$$

Donde:

N= número total de individuos en la estación.

n_i= número de individuos en una familia.

t_i= puntaje de tolerancia de cada familia.

Cuadro 2. Niveles de calidad de agua según el Índice Biótico de Familias (IBF).

Índice Biótico	Calidad del Agua	Clase
0.00 - 3.75	Excelente	1
3.76 - 4.25	Muy buena	2
4.26 - 5.00	Buena	3
5.01 - 5.75	Regular	4
5.76 - 6.50	Relativamente mala	5
6.51 - 7.25	Mala	6
7.26 - 10.00	Muy mala	7

Fuente: Cordero (2015).

Índice de las ordenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT). Determina la salud ambiental sumando los individuos pertenecientes a los tres órdenes indicadores de buena calidad de agua y se determina el porcentaje que representan del total de individuos recolectados (Ecuación 7) (Carrera & Fierro, 2001). Los especímenes pertenecen a los órdenes de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT), cuales presentan poca tolerancia a descensos en la concentración de oxígeno disuelto y a contaminante inorgánicos (Knight Piésold Consultores S.A, 2003).

$$EPT = \frac{n_{ept} + n_{ple} + n_{tri}}{N} \quad [7]$$

Donde:

n_{ept} = número de Ephemeroptera.

n_{ple} = número de Plecoptera.

n_{tri} = número de Trichoptera.

N= número total de individuos en la población.

Cuadro 3. Clasificación de la calidad del agua según el induce EPT.

Clase	Índice EPT%	Calidad del agua
1	75 - 100	Muy buena
2	50 - 74	Buena
3	25 - 49	Regular
4	0 - 24	Mala

Fuente: Carrera & Fierro (2001).

Parámetros físico-químicos y microbiológicos. Los resultados de los análisis fueron la colaboración de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), quienes tomaron los datos en dos estaciones. La primera ubicada aguas arriba de la localidad Villa Autónoma, cerca la estación Centro Urku (coordenadas UTM: X=350704; Y=9285712) y la segunda aguas debajo de la estación Desagüe de red y antes de la desembocadura al río Cumbaza (coordenadas UTM: X=349134; Y=9277981). Los criterios tomados en cuenta para la evaluación fueron establecidos en la Categoría 4: (Conservación del Ambiente Acuático) - Ríos de la Selva, de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua establecidos en el Decreto Supremo N° 002-2008-Ministerio de Ambiente (MINAM) en Perú.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Riqueza específica y abundancia. En la investigación se recolectó un total de 1,622 individuos pertenecientes a 7 órdenes y 22 familias. El mayor número de familias pertenecen a las órdenes Ephemeroptera y Trichoptera, con cinco familias por orden. El menor número de familias pertenecen al orden Megaloptera, con tan sólo una familia encontrada. El mayor número de individuos encontrados pertenecen a las familias Baetidae, Leptophlebiidae y Heptageniidae. Los individuos menos abundantes del estudio pertenecen a la familia Ephemerellidae con tres individuos.

Cuadro 4. Abundancia de individuos por orden y familia en el río Shilcayo.

Orden		Familia	Número de individuos
1 Coleoptera	1	Elmidae	16
	2	Psephenidae	8
2 Ephemeroptera	3	Baetidae	658
	4	Heptageniidae	239
	5	Caenidae	29
	6	Leptophlebiidae	360
	7	Ephemerellidae	3
3 Hemiptera	8	Mesoveliidae	4
	9	Belostomatidae	5
	10	Veliidae	8
	11	Naucoridae	14
4 Megaloptera	12	Corydalidae	26
5 Odonata	13	Libellulidae	34
	14	Platycnemididae	7
	15	Calopterygidae	43
6 Plecoptera	16	Nemouridae	4
	17	Perlidae	63
7 Trichoptera	18	Hydropsychidae	67
	19	Odontoceridae	11
	20	Rhyacophilidae	6
	21	Leptoceridae	13
	22	Calamoceratidae	4
Total			1,622

Las estaciones que presentaron mayor número de familias (S) fueron aquellas de la cuenca alta, con 20 y 22 familias respectivamente. El menor número de familias se encontraron en las estaciones del Desagüe de red, con tan sólo 9 y 7 familias. Se aprecia un gradiente descendiente río abajo, en el número de individuos (N) y familias de las estaciones de muestreo y se muestra la diferencia notable entre las estaciones de la cuenca alta y las estaciones de la cuenca baja. Las estaciones de la cuenca media y baja cuentan con dos puntos de muestreo, antes y después de la descarga de contaminantes, representadas por los decimas 0.1 y 0.2 por estación.

Cuadro 5. Número de individuos por estaciones de muestreo en el río Shilcayo.

Familia	Bocatoma	Centro	Hotel		Electro		Desagüe de	
		URKU	Shilcayo		Oriente		red	
	1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Libellulidae	3	1	3	1	5	4	10	7
Mesoveliidae	2	2	0	0	0	0	0	0
Platycnemididae	4	3	0	0	0	0	0	0
Baetidae	27	30	47	80	87	76	145	166
Leptophlebiidae	129	104	43	34	14	14	10	12
Nemouridae	0	1	0	0	0	0	0	3
Hydropsychidae	34	24	2	3	1	4	1	0
Odontoceridae	4	6	0	1	0	0	0	0
Belostomatidae	3	2	0	0	0	0	0	0
Veliidae	2	2	0	2	0	1	1	0
Naucoridae	2	3	3	0	1	3	2	0
Corydalidae	11	7	4	1	1	2	0	0
Rhyacophilidae	4	2	0	0	0	0	0	0
Caenidae	3	6	8	0	3	2	4	3
Perlidae	26	23	3	8	3	0	0	0
Calopterygidae	3	6	3	6	2	8	8	11
Heptageniidae	93	74	19	26	13	8	2	4
Elmidae	7	5	0	1	0	3	0	0
Psephenidae	4	1	0	1	2	0	0	0
Leptoceridae	9	1	1	2	0	0	0	0
Calamoceratidae	3	1	0	0	0	0	0	0
Ephemerellidae	0	1	0	1	1	0	0	0
N	373	305	136	167	133	125	183	206
S	20	22	11	14	12	11	9	7

Índice de diversidad de Margalef. El índice de Margalef osciló en el rango de 3.67 y 1.12 mostrando que la estación más diversa se encuentra en el Centro Urku, con el valor de 3.67; el siguiente valor de 3.20, pertenece a la bocatoma del río Shilcayo. Ambas estaciones de la cuenca alta presentan valores de diversidad alta constatando de este modo que son estaciones sin alto impacto antropogénico. Se observa que la estación menos diversa está ubicada en la desembocadura de red de desagüe con el valor de 1.12, siendo el punto de muestreo que evidencia mayor alteración en el ecosistema debido al impacto que conlleva el crecimiento demográfico, la contaminación por desechos sólidos y aguas negras. La estación del hotel río Shilcayo muestra mayor diversidad río abajo debido a la disponibilidad de mayores hábitats como las orillas sobrecolgadas y corridos.

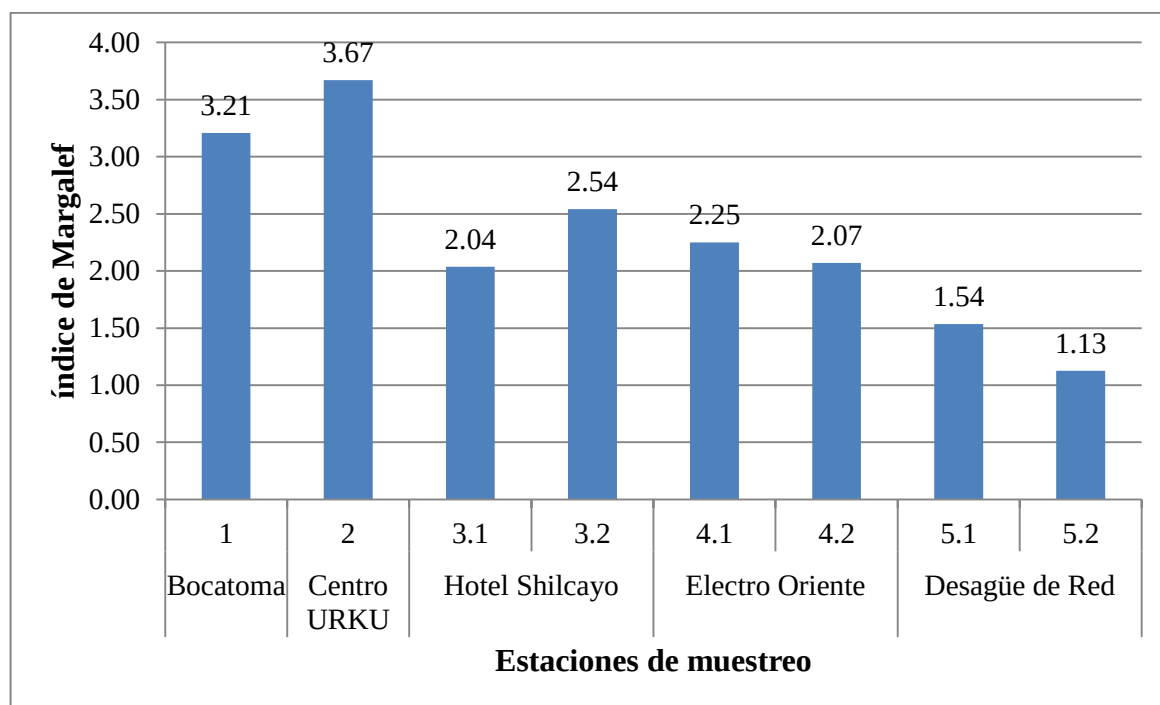


Figura 2. Diversidad de Margalef por estaciones de muestreo en el río Shilcayo.

Índice de Simpson. El rango del índice de Simpson osciló entre los valores de 0.20 y 0.66, indicando que la estación donde existe mayor dominancia es la estación de red de desagüe con el valor de 0.66. Este resultado indica que si tomamos dos individuos al azar de la cuenca baja, la probabilidad que pertenezca a la misma familia es mucho mayor a comparación de la cuenca alta. Las estaciones bajas muestran poca diversidad en familias y por ende sus individuos tienen mayores probabilidades de pertenecer a la misma familia.

Cuadro 6. Valores de la dominancia de Simpson para las estaciones.

Bocatoma	Centro		Hotel Shilcayo		Electro Oriente		Desagüe de Red	
	Urku		3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
1	2							
0.20	0.20		0.25	0.30	0.45	0.39	0.64	0.66

Índice de Shannon-Wiener. La diversidad de las estaciones oscila entre los valores de 2.05 y 0.81 bits/individuo, siendo la estación con mayor diversidad ubicada en el Centro Urku con un valor de 2.05, lo cual refleja que es una estación con poco impacto de contaminación o deterioro. Por lo contrario, la estación menos diversa se encuentra en el desagüe de red con un valor de 0.8, reflejando el impacto recibido de las comunidades de insectos a causa del vertimiento de aguas negras en el río.

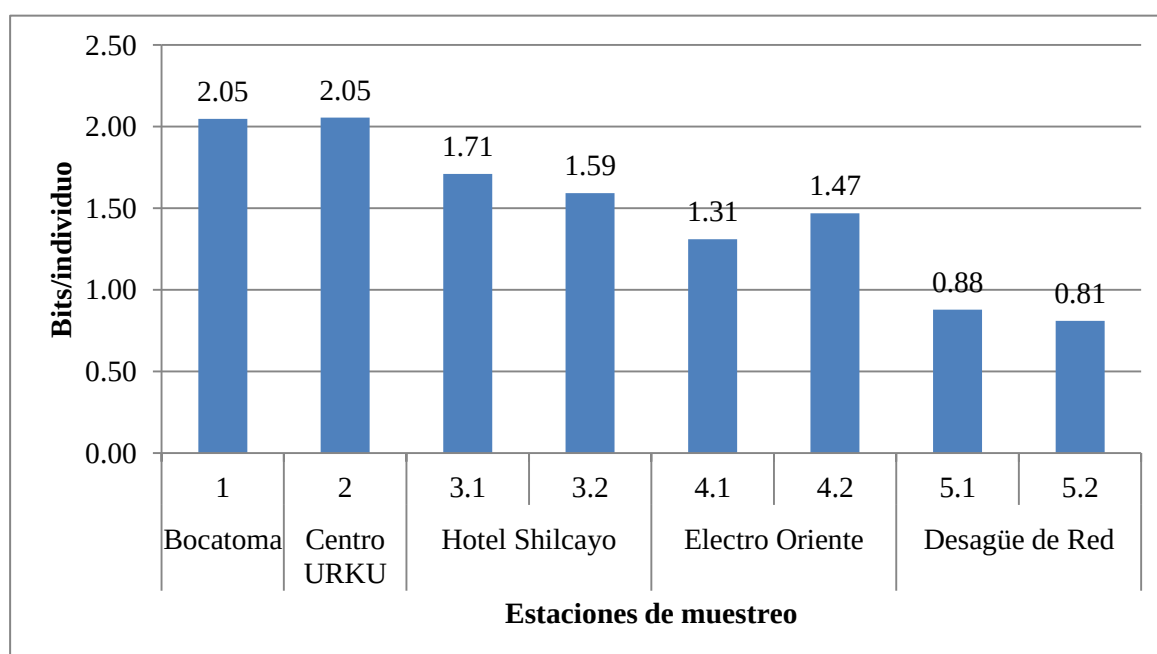


Figura 3. Valores del índice de Shannon-Wiener.

Para determinar si las diversidades provenientes de las estaciones son iguales, se realizó la prueba de t Hutcheson 1970 (Anexo 03). Se muestra en la tabla los valores “t” calculada y “p” de significancia. Se observa que ambas estaciones río arriba son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$) a las demás estaciones río abajo. Las estaciones río arriba no son estadísticamente diferentes ($p = 0.947$) y presentan diversidades similares. Las estaciones que presentan dos puntos de muestreo no muestran diferencia estadística ($p = 0.2-0.6$) entre ambos puntos de la misma estación.

Similitud de Sorensen cualitativo. Sorensen cualitativo muestra que las dos estaciones de la cuenca alta, cuales estaciones sin foco de contaminación, son muy similares compartiendo el 95% de los taxones. Las estaciones más diferentes son la Bocatoma y Desagüe de red parte baja, al compartir sólo el 44% de los taxones. Las estaciones con dos puntos de muestreo muestran similitudes de entre 75% y 78%. La estación del Hotel Shilcayo comparte el 75% de las familias en sus dos puntos de muestreo, lo cual es similar en las siguientes dos estaciones del Electro Oriente y del Desagüe de red, estas dos últimas estaciones comparten el 78 y 75% de sus taxones en sus dos puntos de muestreo.

Cuadro 7. Similitud de Sorensen cualitativo entre los puntos de muestreo.

	Similitud de Sorensen Cualitativo	Bocatoma 1	Centro Urku 2	Hotel Shilcayo		Electro Oriente		Desagüe de red	
				3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Bocatoma	1		0.95	0.71	0.73	0.69	0.71	0.62	0.44
Centro Urku	2			0.67	0.74	0.71	0.67	0.58	0.48
Hotel Shilcayo	3.1				0.75	0.87	0.82	0.80	0.67
	3.2					0.72	0.75	0.64	0.50
Electro Oriente	4.1						0.78	0.76	0.63
	4.2							0.90	0.67
Desagüe de Red	5.1								0.75
	5.2								

Similitud de Sorensen cuantitativo. La similitud de Sorensen cuantitativo muestra que la abundancia de las especies compartidas entre las dos estaciones de la cuenca alta es el 86%, indicando en este caso que las dos estaciones comparten el 95% de las especies pero en abundancia diferentes. Al comparar las estaciones del Bocatoma y Desagüe de red, sólo comparten 18% de la abundancia de las especies en común. La estación del Desagüe de red es la que comparte una mayor similitud en abundancia de los individuos compartidos, con el 90% de similitud.

Cuadro 8. Similitud de Sorensen cuantitativo entre los puntos de muestreo.

	Similitud de Sorensen Cuantitativo	Bocatoma 1	Centro Urku 2	Hotel Shilcayo		Electro Oriente		Desagüe de Red	
				3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Bocatoma	1		0.86	0.43	0.40	0.28	0.28	0.19	0.18
Centro URKU	2			0.52	0.49	0.32	0.34	0.23	0.22
Hotel Shilcayo	3.1				0.74	0.65	0.64	0.45	0.42
	3.2					0.78	0.76	0.58	0.55
Electro Oriente	4.1						0.84	0.70	0.67
	4.2							0.69	0.64
Desagüe de Red	5.1								0.90
	5.2								

Distribución de familias. Se aprecian diferentes comportamientos en la distribución de las familias de insectos. El color celeste muestra los lugares con menor concurrencia de los individuos, el color amarillo muestra los lugares con concurrencia intermedia y finalmente el color rojo muestra los lugares con mayor concurrencia. También se muestra la distribución de los taxones por porcentaje. Encontramos familias con una distribución de abundancia descendente río abajo.

Cuadro 9. Distribución de las familias de insectos por estaciones.

Ubicación taxonómica	Centro		Hotel		Electro Oriente		Desagüe de Red	
	Bocatoma 1	Urku 2	Shilcayo 3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Libellulidae	9%	3%	9%	3%	15%	12%	29%	21%
Mesoveliidae	50%	50%						
Platycnemididae	57%	43%						
Baetidae	4%	5%	7%	12%	13%	12%	22%	25%
Leptophlebiidae	36%	29%	12%	9%	4%	4%	3%	3%
Nemouridae		25%						75%
Hydropsychidae	49%	35%	3%	4%	1%	6%	1%	
Odontoceridae	36%	55%		9%				
Belostomatidae	60%	40%						
Veliidae	25%	25%		25%		13%	13%	
Naucoridae	14%	21%	21%		7%	21%	14%	
Corydalidae	42%	27%	15%	4%	4%	8%		
Rhyacophilidae	67%	33%						
Caenidae	10%	21%	28%		10%	7%	14%	10%
Perlidae	41%	37%	5%	13%	5%			
Calopterygidae	6%	13%	6%	13%	4%	17%	17%	23%
Heptageniidae	39%	31%	8%	11%	5%	3%	1%	2%
Elmidae	44%	31%				19%		
Psephenidae	57%	14%			29%			
Leptoceridae	69%	8%	8%	15%				
Calamoceratidae	75%	25%						
Ephemerellidae		33%		33%	33%			

Existen familias exclusivas de las estaciones altas, como las: Mesoveliidae, Platycnemididae, Belostomatidae, Rhyacophilidae y Calamoceratidae, mostrando la afinidad por aguas limpias y posible sensibilidad a aguas contaminadas. Existen también familias con presencia en la mayoría de las estaciones pero con afinidad a aguas menos contaminadas, como las: Leptophlebiidae, Hydropsychidae, Heptageniidae. Encontramos también familias presentes la mayoría de las estaciones y con afinidad a las estaciones bajas o deterioradas: Libellulidae, Baetidae, Calopterygidae y Nemouridae.

Indicadores biológicos de calidad de agua. Las familias sugeridas como bioindicadores, en virtud a su abundancia, presencia en la mayoría de las estaciones y respuesta a la gradiente observada, son: Libellulidae, Baetidae, Leptophlebiidae, Calopterygidae, Heptageniidae, Hydropsychidae, Perlidae y Corydalidae. Las familias mencionadas adquieren valores sobre el grado de susceptibilidad a la contaminación, tal virtud hace posible el uso de los insectos como indicadores biológicos. A continuación se presenta los resultados de los indicadores biológicos evaluando la calidad de agua del río Shilcayo.

“Biological Monitoring Working Party” adaptado para Peru (BMWP). El estudio nos muestra que hay una gradiente de cambio comunitario a lo largo del río Shilcayo. Las dos estaciones sin foco de contaminación efectivamente reflejan el estado de conservación del ecosistema, al tener presente las familias más sensibles a la contaminación, sumando los puntajes a 141 en la estación bocatoma y 155 en el Centro Urku. Sin embargo, las estaciones siguientes río abajo, muestran una gradiente de la contaminación y sus consecuencias conllevando la ausencia de algunas familias y por ende disminución de los valores. Las estaciones cercas del hotel Río Shilcayo y la empresa eléctrica Electro Oriente presentan valores entre 100 y 73 puntos, lo cual indican aguas de calidad regular y a su vez contaminación moderada. Finalmente la última estación ubicada en el desagüe de red se presencia el gran impacto de las aguas negras y desechos sólidos arrojados al río. Siendo la estación con el menor valor obtenido de 59 y 53 en los dos puntos de muestreo, mostrando el agua de calidad mala y contaminada.

Cuadro 10. “Biological Monitoring Working Party” adaptado para Peru (BMWP).

Estación		Valor	Calidad
Bocatoma	1	141.00	Aguas de calidad buena, muy limpias
Centro Urku	2	155.00	Aguas de calidad buena, muy limpias
Hotel río Shilcayo	3.1	81.00	Aguas de calidad regular, contaminación moderada
	3.2	100.00	Aguas de calidad regular, contaminación moderada
Electro Oriente	4.1	90.00	Aguas de calidad regular, contaminación moderada
	4.2	73.00	Aguas de calidad regular, contaminación moderada
Desagüe de red	5.1	59.00	Aguas de calidad mala, contaminadas
	5.2	53.00	Aguas de calidad mala, contaminadas

Los valores asignados por el indicador BMWP coinciden en su mayoría con el comportamiento de las familias según el puntaje y la interpretación de la misma. Las familias que no coinciden en las comparaciones son la Hydropsychidae debido al bajo valor asignado en el indicador, y la familia Baetidae debido a su alto valor asignado por el indicador. El cuadro de distribución muestra que la familia Hydropsychidae merecerá un valor mayor por su presencia mayoritaria en la cuenca alta y su ausencia en la cuenca baja, cual diversidad es menor que las demás estaciones. La familia Baetidae merece una puntuación menor en el indicador, debido a su presencia mayoritaria en la cuenca baja y menor presencia en la cuenca alta.

La familia Libellulidae y Baetidae está presente en todas las estaciones y con mayor afinidad a aguas con aparente contaminación. El valor asignado por el indicador BMWP para estas dos familias es elevado. Las familias Leptophlebiidae y Heptageniidae están presentes en todas las estaciones y mayor afinidad en aguas limpias. Se encuentra la familia Hydropsychidae con presencia en aguas limpias y no coincide con el valor e interpretación asignado por el indicador BMWP. La familia Perlidae está presente en aguas limpias con mayor presencia en la cuenca alta y disminuyendo en la cuenca media y ausencia en la cuenca baja, el valor asignado por indicador coincide con el comportamiento en distribución a lo largo del río. La familia Corydalidae tiene presencia mayoritaria en cuenca alta, también se encuentra distribuida en las cuencas medias y ausencia en cuenca baja, el valor asignado a éste valor es adecuada.

Cuadro 11. Comparación de bioindicadores sugeridos con el indicador BMWP.

Familias	Valor asignado por BMWP	Estaciones de muestreo							
		1	2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Libellulidae	6	9%	3%	9%	3%	15%	12%	29%	21%
Baetidae	8	4%	5%	7%	12%	13%	12%	22%	25%
Leptophlebiidae	10	36%	29%	12%	9%	4%	4%	3%	3%
Heptageniidae	10	39%	31%	8%	11%	5%	3%	1%	2%
Hydropsychidae	5	49%	35%	3%	4%	1%	6%	1%	0%
Perlidae	10	41%	37%	5%	13%	5%	0%	0%	0%
Corydalidae	8	42%	27%	15%	4%	4%	8%	0%	0%

Índice biótico de familias. La evaluación muestra que ambas estaciones de la cuenca alta resultan en calidad muy buena, lo cual es un valor esperado debido a ser las estaciones sin puntos de contaminación. La estación hotel Río Shilcayo muestra dos clases diferentes, el punto de muestreo 3.1 ubicada antes del punto de contaminación muestra calidad de agua regular y el siguiente punto 3.2 ubicada después del punto de contaminación muestra calidad buena. Esta variante de clase en puntos de muestreo cercanos puede deberse a las diferentes de los microhábitats y presencia de mayor área boscosa en la estación 3.1. La estación de la empresa Electro Oriente se ubican en la misma clase de regular indicando que el ecosistema de la estación está siendo alterada por los desechos y actividad urbana. Finalmente la última estación ubicada en el desagüe de red presenta calidad de agua relativamente mala en sus dos puntos de muestreo, indicando la condición de deterioro del ecosistema por los desechos sólidos y aguas negras vertidos en el lugar.

Cuadro 12. Valores de calidad de agua por estación.

Estación		Valor	Calidad	Clase
Bocatoma	1	3.96	Muy buena	1
Centro URKU	2	4.02	Muy buena	2
Hotel Río Shilcayo	3.1	5.01	Regular	3
	3.2	4.87	Buena	4
Electro Oriente	4.1	5.49	Regular	5
	4.2	5.69	Regular	6
Desagüe de red	5.1	6.08	Relativamente mala	7
	5.2	5.94	Relativamente mala	8

Índice (EPT) Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera. Todas las estaciones resultan valores de la primera clase indicando el estado de calidad del agua de muy buena. El índice EPT muestra resultados no esperados debido a la evaluación a nivel de órdenes, ya que cada orden tiene familias cuales tolerancia a la contaminación son diferentes. Los indicadores de BMWP e IBF muestran valores de susceptibilidad para cada familia y la sumatoria de los puntajes obtenidos.

El indicador EPT es susceptible a la presencia de ciertas familias con adaptaciones a la vida acuática con respiración aeropnéutica, como es el caso de algunos individuos de la familia Baetidae perteneciente a la orden Ephemeroptera. Ciertas ninfas como de los géneros Mayobaetis y Moribaetis, pueden salir del agua a caminar o arrastrarse en zonas húmedas de piedras y rocas donde salpica el agua (Flores & De la Rosa, 2010).

Estudios realizados en sudamérica sobre insectos como bioindicadores muestran que indicadores a nivel de órdenes como el ETP, no son adecuados debido a que la presencia media de algunos contaminantes que pueden no afectar de forma importante la comunidad de insectos; los insectos intolerantes pueden ser sustituidos por otras tolerantes y de este modo igualando el número de individuos en el medio a evaluar. Existen taxas con amplia distribución y patrones geográficos distintos; tolerancia a perturbaciones variables que al usar indicadores a nivel de orden e incluso a nivel de familia se podría mal interpretar los resultados (Domínguez & Fernández, 2009).

Cuadro 13. Valores de calidad de agua del indicador EPT.

Estación		Valor	Calidad	Clase
Bocatoma	1	89%	Muy buena	1
Centro URKU	2	90%	Muy buena	1
Hotel Río Shilcayo	3.1	90%	Muy buena	1
	3.2	93%	Muy buena	1
Electro Oriente	4.1	92%	Muy buena	1
	4.2	83%	Muy buena	1
Desagüe de red	5.1	88%	Muy buena	1
	5.2	91%	Muy buena	1

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Shilcayo. Los parámetros físicos indican que la estación cerca al Centro Urku muestra valores que se encuentran entre los rangos de los Estándares de Calidad de Ambiental (ECA). Sin embargo, la estación ubicada río debajo de la Estación Desagüe de red muestra varios valores que exceden los ECA, entre ellas está el bajo contenido de oxígeno, demanda bioquímica elevada y sólidos suspendidos en elevadas proporciones. Los valores que exceden los ECA muestran que la calidad del agua es afectada por las vertientes de desagües y desechos al cauce del río, alterando el estado del ecosistema.

Cuadro 14. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del río Shilcayo.

Parámetros	Unidad	Estación 1	Estación 2	ECA
Parámetros Físicos				
Oxígeno Disuelto	mgO ₂ /L	6.68	3.37 §	≥ 5
pH	Unidad de pH	8.13	6.98	6.5-8.5
Temperatura	°C	27.14	31.74	--
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	ND(<3)	220.00 §	<10
Demanda Química de Oxígeno	mgO ₂ /L	16.00	581.00 §	<30
Sólidos Suspendido Totales	mg/L	11.00	173.00 §	≥25
Nutrientes				
Fosfatos	mg/L	0.04	6.92	0.5
Nitrógeno amoniacal	mg/L	ND(<0.01)	0.32 §	0.05
Nitratos	mg/L	0.17	0.33	10
Nitrógeno total	mg/L	0.56	4.52 §	1.6
Parámetros Orgánicos				
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	ND(<1)	41.00 §	0
Microbiológicos				
Coliformes Termotolerantes (44.5°C)	NMP/100ml	790	11 × 10 ⁷ §	2,000

(§) Valores que exceden los estándares de calidad; (ND) No definido; (--) No relevante

Fuente: ANA (2015).

4. CONCLUSIONES

- La diversidad y estructura de la comunidad de insectos son parámetros que se ven influenciadas por las perturbaciones existentes en el ecosistema. El río Shilcayo muestra un ecosistema perturbado por la deforestación y contaminación del agua por aguas residuales.
- La riqueza de individuos es mucho mayor en las dos estaciones río arriba, ubicadas en la cuenca alta del río. Ambas estaciones reflejan el estado de la buena calidad del agua, mostrando la mayoría de las familias de insectos presentes en el lugar.
- Las estaciones río abajo presentan menor número de familias, resultando las estaciones con mayor dominancia de ciertas familias de insectos como las Nemouridae, Baetidae y Libellulidae.
- El indicador biológico BMWP y el IBF, muestran niveles similares al reportar la calidad de agua. Agua de buena calidad en las dos estaciones de cuenca alta, regular en la cuenca media y mala en la cuenca baja. El indicador EPT muestra niveles de calidad muy buena en todas las estaciones.
- El indicador EPT reporta niveles de calidad de agua diferentes a los otros dos indicadores, debido a su análisis a nivel de orden y ya que no considera la susceptibilidad diferente de cada familia. Siendo los indicadores BMWP y el IBF los que muestran mayor eficiencia para evaluar la calidad de agua debido a la veracidad de sus resultados al comparar con los valores fisicoquímicos y microbiológicos.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar todos los hábitats presentes en el río al evaluar la diversidad y estructura en insectos, debido a la existencia de individuos selectivos en estos hábitats. Así como el Odonata de la familia Platycnemididae que sólo se encontró en orillas sobrecolgadas. De esta manera la evaluación no será afectada por falta de una muestra representativa.
- Realizar prácticas de manejo y conservación de la microcuenca del río Shilcayo, para reducir la contaminación por descargar de aguas residuales y desechos sólidos, que se ve reflejada en la disminución de la diversidad en la cuenca baja.
- Utilizar indicadores biológicos a nivel de familia o género debido a variabilidad en la susceptibilidad a la contaminación o alteración del ecosistema de cada individuo. Los resultados de los indicadores a nivel de orden se ven afectados por esta variabilidad y no se aprovecha esta capacidad de bioindicadores, así como se pudo observar en el indicador EPT.
- Considerar la presencia de ciertas familias con adaptaciones a la vida acuática con respiración aeropnéutica, quienes pueden salir al medio ambiente a tomar aire ya sea sobre las piedras donde salpica el agua o desechos sólidos. Estos individuos pueden vivir en cuerpos de agua con condiciones de hipoxia. Como es el caso de algunos individuos de la familia Baetidae que influenció en gran proporción el indicador EPT.

6. LITERATURA CITADA

- Autoridad Nacional del Agua. (2015). Resultados del monitoreo participativo de la calidad del agua superficial de la cuenca del río Mayo. 110.
- Batllori, E., & Febles, J. (2007). Límites máximos permisibles para el aprovechamiento del ecosistema de manglar. *Gaceta Ecológica*, 5-23.
- Bouza, C., & Covarruibas. (2005). Estimación del índice de diversidad de Simpson en sitios de muestreo. *Revista Investigación Operacional*, 187-195.
- Carrera, C., & Fierro, C. (2001). Manual de monitoreo: Los macroinvertebrados acuáticos. *EcoCiencia*, 11-67.
- Carrera, C., & Fierro, K. (2001). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. En Manual de Monitoreo. *Eco Ciencia*, 67.
- Cordero, A. (2015). Calidad del agua para los ríos alto andinos, mediante indicadores biológicos. 104.
- Domínguez, E., & Fernández, H. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología. Argentina: Fundación Miguel Lillo, 656.
- Emapa San Martín S.A. (3 de Mayo de 2016). *Emapa San Martín Sociedad Anónima*. Obtenido de <http://www.emapasanmartin.com/index.php/nuestra-empresa/planta-de-tratamiento-de-agua>.
- Ferriol, M., & Merle, H. (2012). *Los componentes alfa, beta y gamma de la biodiversidad*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, 10.
- Flores, R., & De la Rosa, C. (2010). Ephemeroptera. *Revista Biologica Tropical*, 63-93.
- Gonzáles, V., Caicedo, O., & Aguirre, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 97-107.
- Hanson, P., Springer, M., & Ramirez, A. (2010). Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista Biologica Tropical*, 3-37.

- Holdridge, L. (1987). Ecología basada en zonas de vida. 3ª reimp. IICA, San José, Costa Rica. 216 p. (Colección Libros y Materiales Educativos, IICA; nº 83).
- Instituto Alexander von Humboldt. (2002). Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*, 42.
- Juver, T. (6 de Julio de 2015). *URKU Estudios Amazónicos*. Obtenido de <http://www.urkuperu.org/juver-tuanama-presidente-de-apamishi-la-microcuenca-del-shilcayo-es-un-valioso-recurso-turistico-por-conservar/>
- Knight Piésold Consultores S.A. (2003). *Estudio de la vida acuática*. Lima: Minera La Zanja S.R.L., 256.
- Magurran, A. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Oxford: Blackwell Publishing company, 18-27.
- Medina, C. (2007). Estado ecológico del río Chicama. Regiones: La libertad y Cajamarca. Tesis de doctorado. Escuela de Posgrado. Universidad Nacional de Trujillo.
- Medina, C., Hora, M., Asencio, I., Pereda, W., & Gabriel, R. (2008). El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) modificado y adaptado a tres microcuencas del Alto Chichama. *Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ciencias Biológicas*, 15.
- Muñoz, S., Naranjo, C., Garcés, G., & Gonzales, D. (2003). Evaluación de la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 147-153.
- Oscóz, J. (2009). Guía de campo de macroinvertebrados de la cuenca del Ebro. *Departamento de Zoología y Ecología, Universidad de Navarra*, 4-125.
- Palma, A. (2013). Guía para la identificación de macroinvertebrados acuáticos. *Departamento de Ecología y Medio Ambiente, del Instituto de Filosofía y Ciencias de la Complejidad (IFICC)*, 122.
- Pérez, G. (2009). Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquía. *Centro Agronomico Tropical de Investigación y Enseñanza*, 170.
- Perez, R. (1999). Los macroinvertebrados y sus características como indicadores de la calidad del agua. *Academia colombiana de ciencias*, 375-387.
- Pino, W., Mena, D., Mosquera, M., Caicedo, K., Palacios, J., Castro, A., & Guerrero, J. (2003). Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada La Bendición. *Acta Biológica Colombiana*, 23.

- River, R., Oscar, P., Chávez, J., Belmont, M., Nikolski, I., De la isla del Bauer, L., & Carrillo, R. (2007). Contaminación por coliformes y helmintos en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino tributarios de la parte oriental de la cuenca del Valle de México. *Rev. Int. Contaminación Ambiental*, 69-77.
- Rodríguez, A., Oliver, B., López, R., & Barragán, C. (2013). Contaminación y riesgo sanitario en zonas urbanas. *Gestión y Ambiente*, 85-96.
- Samanez, I., Rimarachin, V., Palma, C., Arana, C., Ortega, H., Correa, V., & Hidalgo, M. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. Departamento de ictiología-Lima: Ministerio del Ambiente. 75p.
- Sánchez, M. (2005). El índice BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santander. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 54-67.
- Sermeño, J., Serrano, L., Springer, M., Paniagua, M., Peres, D., Rivas, A., & Arias, A. (2010). Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador (IBF-SV-2010). *ResearchGate*, 45.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2011). *Determinacion de la fórmula tarifaria, estructura tarifaria y metas de gestión aplicable a la empresa municipal de agua potable y alcantarillado de San Martin- EPS Emapa San Martín S.A.* Tarapoto: SUNASS.
- Teixeira, V., Castro, V., Ceroni, A., & Eyzaguirre, R. (2004). Diversidad y densidad de la comunidad de cactáceas en el cerro Umarkata y quebrada Orobel en el valle del río Chillón (Lima) y su relación con los factores edáficos. *Ecología Aplicada*, 1-8.
- Vecco, C. (Febrero de 2015). *Urku Estudios Amazónicos*. Obtenido de <http://www.arkuperu.org/corredor-ecoturistico-shilcayo/>
- Vecco, C., Sáenz, J., Sangama, B., Guerra, C., & Tuanama, J. (2014). *Estado actual de los valores de diversidad biológica en el corredor de conservación de la microcuenca Shilcayo*. Tarapoto: Urku Estudios Amazónicos.

7. ANEXOS

Anexo 1. Valores de sensibilidad de los insectos para el índice BMWP.

Orden	Familia	Valor
Trichoptera	Calamoceratidae	10
Ephemeroptera	heptageniidae	10
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	10
Trichoptera	Odontoceridae	10
Plecoptera	Perlidae	10
Coleoptera	Psephenidae	10
Ephemeroptera	Baetidae	8
Odonata	Calopterygidae	8
Megaloptera	Corydalidae	8
Trichoptera	Leptoceridae	8
Ephemeroptera	Ephemerellidae	7
Plecoptera	Nemouridae	7
Trichoptera	Rhyacophilidae	7
Coleoptera	Elmidae	6
Coleoptera	Elmidae	6
Odonata	Libellulidae	6
Odonata	Platycnemididae	6
Trichoptera	Hydropsychidae	5
Hemiptera	Belostomatidae	4
Ephemeroptera	Caenidae	4
Hemiptera	Naucoridae	4
Hemiptera	Veliidae	4
Hemiptera	Mesoveliidae	3

Fuente: (Medina et al., 2008).

Anexo 2. Grado de sensibilidad por familia para índice biótico de familias (IBF).

Orden	Familia	Valor
Coleoptera	Psephenidae	4
Coleoptera	Elmidae	4
Coleoptera	Elmidae	4
Ephemeroptera	Ephemerellidae	1
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	4
Ephemeroptera	heptageniidae	3
Ephemeroptera	Baetidae	6
Ephemeroptera	Caenidae	7
Hemiptera	Veliidae	5
Hemiptera	Mesoveliidae	5
Hemiptera	Naucoridae	6
Hemiptera	Belostomatidae	7
Megaloptera	Corydalidae	7
Odonata	Platycnemididae	1
Odonata	Calopterygidae	7
Odonata	Libellulidae	9
Plecoptera	Perlidae	2
Plecoptera	Nemouridae	2
Trichoptera	Odontoceridae	2
Trichoptera	Rhyacophilidae	0
Trichoptera	Calamoceratidae	2
Trichoptera	Leptoceridae	4
Trichoptera	Hydropsychidae	5

Fuente: Cordero (2015).

Anexo 3. Test estadístico de Hutcheson para los valores de Shannon-Wiener.

Estaciones de muestreo		Centro Urku	Hotel Shilcayo		Electro Oriente		Desagüe de Red	
		2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Bocatoma	1	t=-0.065 p=0.947	t=3.15 p>0.05	t=4.46 p>0.05	t=5.57 p>0.05	t=4.37 p>0.05	t=10.15 p>0.05	t=11.59 p<0.05
Centro URKU	2		t=3.09 p>0.05	t=4.35 p>0.05	t=5.48 p>0.05	t=4.31 p>0.05	t=9.88 p>0.05	t=11.21 p>0.05
Hotel Shilcayo	3.1			t=1.17 p=0.24	t=2.76 p>0.05	t=1.66 p=0.09	t=6.42 p>0.05	t=7.36 p>0.05
	3.2				t=1.75 p=0.08	t=0.65 p=0.51	t=5.26 p>0.05	t=6.12 p>0.05
Electro Oriente	4.1					t=-0.97 p=0.33	t=2.84 p>0.05	t=3.43 p>0.05
	4.2						t=3.91 p>0.05	t=4.54 p>0.05
Desagüe de Red	5.1							t=0.52 p=0.60

Anexo 4. Estaciones de muestreo en el río Shilcayo, Perú.

Estación Desagüe de la red.



Estación Electro Oriente.



Estación Hotel Shilcayo.



Estación URKU.



Estación Bocatoma.

