

BIOMONITOREO UTILIZANDO MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LA PARTE ALTA, MEDIA Y BAJA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO COTÓN, BAJA VERAPAZ, GUATEMALA.

Biomonitoring using aquatic macroinvertebrates in the upper, middle and lower part of the Cotón river subbasin, Baja Verapaz, Guatemala.

Wagner Guillermo Alonzo De León

Mtr. en Producción y Uso de plantas Medicinales
wagneralonzo@yahoo.com

Pedro Julio García Chacón

Dr. en Recursos Naturales para el Desarrollo
invespj@gmail.com

Norma Edith Gil Rodas

Mtr. en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente
normadecastillo1965@yahoo.com

Recibido: 6 de febrero de 2024 | Revisado: 8 de marzo de 2024 | Aprobado: 20 de julio de 2024

Resumen

Se evalúa la composición de macroinvertebrados acuáticos y la calidad del agua en la subcuenca del río Cotón, Baja Verapaz; se realizan muestreos en la parte baja, media y alta durante la época seca y lluviosa del año 2023. Utilizando diversos índices se calcula la riqueza específica, diversidad, equitatividad y dominancia de las comunidades de macroinvertebrados. Los resultados demuestran que, las comunidades presentan alta riqueza de especies, diversidad media, baja uniformidad y dominancia baja a moderada. Durante la época seca la calidad del agua es buena en la parte baja y media de la subcuenca, y regular en la parte alta. Durante la época lluviosa la calidad del agua en la parte baja es muy buena, en la parte media es buena y mala en la parte alta. Esto es importante en la búsqueda de una adecuada protección y gestión sostenible de los ecosistemas acuáticos; además, pueden ser utilizados como un sistema de alerta temprana ante cambios ambientales y el cambio climático.

Palabras clave

Biomonitoreo, índice biótico EPT, calidad del agua, macroinvertebrados.

Abstract

To evaluate the composition of aquatic macroinvertebrates and water quality in the sub-basin of the Cotón River, Baja Verapaz, sampling was carried out in the lower, middle and upper reaches during the dry and rainy seasons of the year 2023. The specific richness, diversity, equitability and dominance of macroinvertebrate communities are calculated using various indices. The EPT biotic index is used to determine water quality. The results of this study show that the communities have high species richness, medium diversity, low evenness and low to moderate dominance. During the dry season, water quality is good in the lower and middle part of the sub-basin, being regular in the upper part. On the other hand, during the rainy season, water quality in the lower part is very good and good, in the middle part it is good and bad in the upper part. These data are important in the search for adequate protection and sustainable management of aquatic ecosystems and can also be used as an early warning system for environmental changes and climate change.

Keywords

Biomonitoring, biotic index EPT, water quality, macroinvertebrates.

Introducción

Debido a su alta diversidad biológica, los ecosistemas acuícolas son considerados uno de los recursos naturales renovables más importantes para la vida (Meza et al., 2012). Sin embargo, las actividades antropogénicas, como la agricultura, la ganadería y otras, generan impactos negativos sobre estos. Para evaluar la calidad de los ecosistemas acuícolas se suele utilizar mayormente parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, pero estos tienen la limitante que representan únicamente la condición del agua en el momento del muestreo (Springer, 2010).

A diferencia de los análisis fisicoquímicos, el uso de macroinvertebrados muestra tendencias a través del tiempo, por lo cual lo convierte en una herramienta útil, sencilla, rápida y de bajo costo que lleva años empleándose (Roldán, 1996; Springer, 2010 y Rosales y Sánchez, 2013).

El biomonitoreo consiste en la evaluación de perturbaciones en el medio ambiente utilizando diversos organismos, el objetivo es utilizar dicha información en el control de la calidad del ecosistema (Sumudumali y Jayawardana, 2021).

Por ello, se busca determinar la calidad del agua en la subcuenca del río Cotón, ubicada en la jurisdicción de los municipios de Granados y Cubulco, en el departamento de Baja Verapaz (IGN, 1976).

Se recolectan macroinvertebrados acuáticos que posteriormente son contados e identificados mediante estereomicroscopio y claves taxonómicas; por último, se aplica el índice biótico EPT para determinar la calidad del agua (Carrera y Fierro, 2001; López Mendoza et al., 2019).

Este índice se basa en la presencia y abundancia de tres órdenes de insectos acuáticos: Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera. Estos órdenes son sensibles a la contaminación del agua y su presencia suele indicar buena calidad del agua.

El propósito de esta investigación es contribuir al reconocimiento de la biodiversidad acuática de la subcuenca del río Cotón y evaluar la calidad ambiental mediante el biomonitoreo. El conocimiento generado es útil para plantear estrategias efectivas en la utilización y conservación del recurso hídrico.

Desarrollo del estudio

El alcance del estudio es descriptivo y explicativo, en el cual se utilizan las comunidades de macroinvertebrados para determinar la calidad del agua. El diseño es no experimental, debido a que las comunidades de macroinvertebrados se analizan en su estado original, sin ningún tipo de manipulación.

La población está conformada por las comunidades de macroinvertebrados de la subcuenca del río Cotón, se utiliza un muestreo del tipo estratificado aleatorio, en el que cada zona de vida representa un estrato. Se toman cinco puntos de muestreo, los cuales se seleccionan a lo largo de la cuenca tomando en cuenta la representatividad del área y que sean accesibles para la toma de muestras.

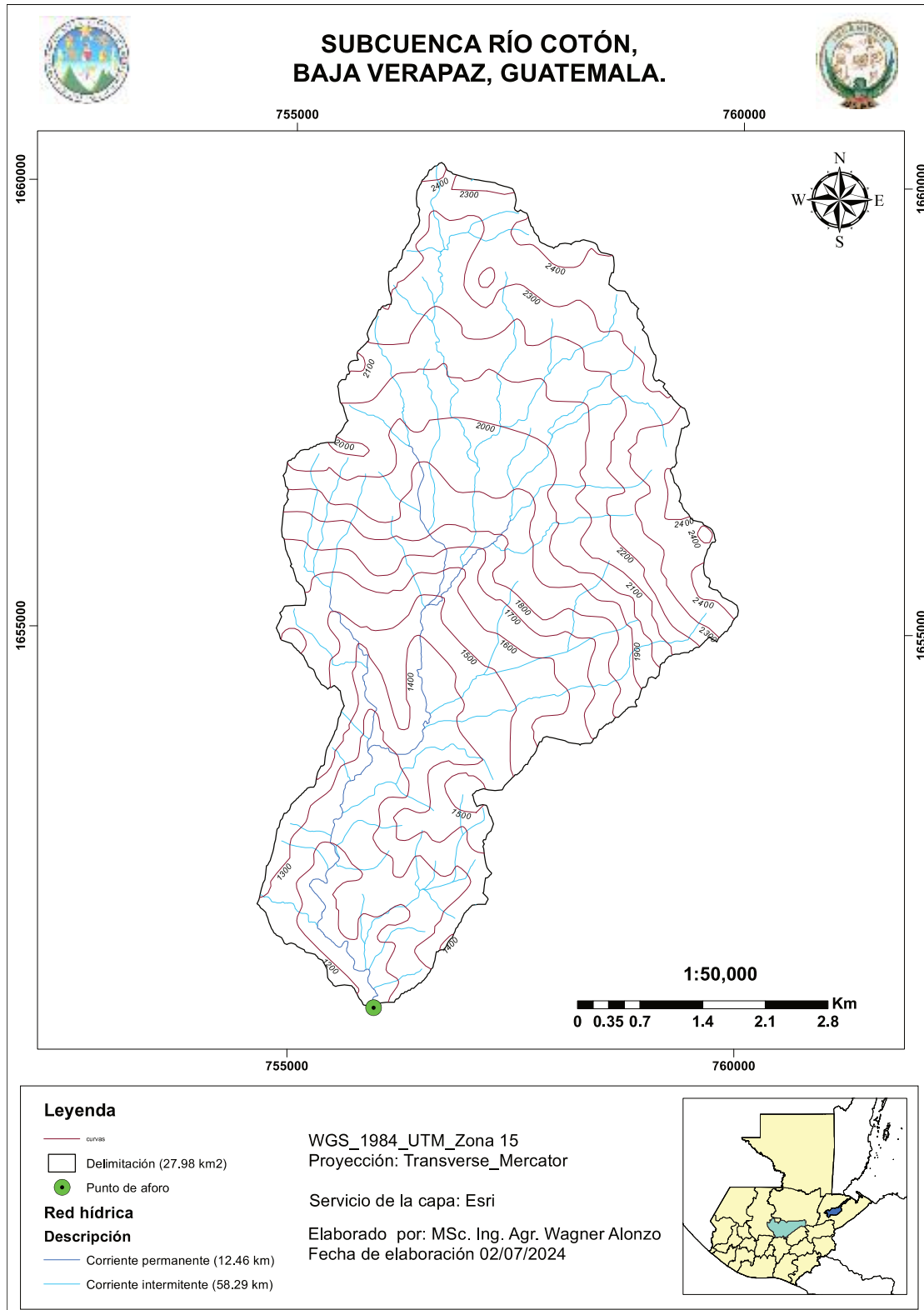
Con base en una visita de campo consistente en un recorrido previo en toda la subcuenca, se recolecta información del área de estudio la cual se complementa con mapas hidrográficos y de zonas de vida.

La Figura 1 muestra la delimitación de la subcuenca del río Cotón, y los puntos de muestreo seleccionados como referencia para el estudio.

Para la recolección de muestras de macroinvertebrados acuáticos se emplea la metodología estandarizada de muestreo multihabitat, la cual utiliza la red "D" propuesta por Semeño et al., (2010). En cada sitio de muestreo se toman 3 submuestras.

Figura 1.

Delimitación de la subcuenca Cotón



Nota. Elaboración propia utilizando QGIS.

Cálculo del índice de Margalef

En la Ecuación 1 se presenta la expresión que se aplica para el cálculo de riqueza específica de Margalef (1958, p 50):

$$D_{MG} = \frac{(S - 1)}{\ln N} \quad (1)$$

donde:

S : número de especies.

$\ln N$: logaritmo natural de la abundancia.

Un índice con valores menores a 2 indica una baja riqueza de especies, por el contrario, valores cercanos a 5 o superiores denotan una riqueza de especies alta (Mora-Donjuán et al., 2017).

Cálculo del Índice de Shannon-Weaver

En la Ecuación 2 se describe el índice de Shannon & Weaver (1949), los autores indican que este índice “corresponde a la sumatoria de la proporción de la especie i multiplicado por el logaritmo natural de esta proporción” (p.14), se define como:

$$H' = -\sum_{i=1}^n \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n} \quad (2)$$

donde:

n_i : número de individuos de la especie i .

n : número de individuos totales.

El índice de Shannon-Weaver, varía entre 1 y 5, valores menores de 2 se interpretan como diversidad baja, de 2 a 3.5 media y más de 3.5 como alta (Margalef, 1972).

Cálculo del índice de Pielou

En la Ecuación 3 se describe el índice de equidad de Pielou (1969), que “corresponde a la proporción entre el índice de diversidad de Shannon H' y la diversidad máxima (H_{max}), que existiría si todas las especies estuvieran en una condición de igualdad de abundancia” (p.75), está definido como:

$$J' = \frac{H'}{H_{max}} \quad (3)$$

donde:

H' : diversidad de Shannon.

H : $\ln S$; S : corresponde al número de especies.

El índice de Pielou varía entre 0 y 1, el 0 indica la ausencia de uniformidad y el número 1 señala que todas las especies son igualmente abundantes (Martella et al., 2012).

Cálculo del índice de Simpson

En la Ecuación 4 se define el índice de dominancia de Simpson (1949) el cual representa “la probabilidad de que dos individuos escogidos al azar pertenezcan a la misma especie” (p.688).

$$D = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \quad (4)$$

donde:

n_i : número de individuos de la especie i .

N : número de individuos totales.

Cuánto más alta es esta probabilidad, menos diversa es la comunidad. Un índice con valores más cercanos a 1 indican menor diversidad del hábitat, es decir, mayor es la probabilidad de dominancia de una especie. Mientras tanto, valores más cercanos a 0 indican mayor diversidad del hábitat (Martínez-Arévalo, 2022).

Cálculo del Índice EPT

El índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera) se refiere al número de individuos de dichos órdenes presentes en la muestra. Se calcula dividiendo el número de individuos de los órdenes Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera por el número total de individuos colectados (Galindo et al., 2017).

Resultados obtenidos

a. Composición espacial y temporal

El río Cotón presenta diferencia en sus características dependiendo de la época en la que se analice. Así, el ancho y la profundidad aumentan durante la época lluviosa comprendida entre los meses de mayo a octubre. En la época seca se recolectan un total de 5,289 macroinvertebrados mientras que en la época lluviosa el total es de 5,039.

La fauna acuática está representada por 14 órdenes y 49 familias durante la época seca. Siendo el orden Ephemeroptera el más abundante con un 31 % del total de organismos recolectados. Seguido de Trichoptera con un 26 %; luego Diptera con un 21 %, Coleoptera con un 16 %, Plecoptera con un 3 %, Hemiptera y Odonata con un 1 % para un total de 99 %, el restante 1 % lo conforman Blattodea, Oligochaeta, Lepidoptera, Megaloptera, Neophora, Sphaeriidae y Trombidiformes.

Las familias mejor representadas son Leptohiphidae-Ephemeroptera con 805 individuos, Elmidae-Coleoptera con 753, Chironomidae-Diptera con 756 y por último Hydroptilidae 609 y Hydropsychidae 537 ambas familias del género Trichoptera para un 65 %.

Por otra parte, durante la época lluviosa están presentes 14 órdenes y 44 familias. El orden más abundante es Ephemeroptera con un 38 %, luego Trichoptera con 28.8 %, Coleoptera con 14.9 % y Diptera con un 12.5%, Odonata con 1.8 %, Plecoptera con 1.6 % y Hemiptera con 1.1% para un total de 98.7%, el restante 1.3% lo conforman Basommatophora, Collembola, Lepidoptera, Megaloptera, Neophora, Sphaeriidae y Trombidiformes.

Las familias más representativas son Leptohiphidae-Ephemeroptera con 1138 individuos, Hydroptilidae-Trichoptera con 898, Elmidae-Coleoptera con 722 y Baetidae-Ephemeroptera con 674.

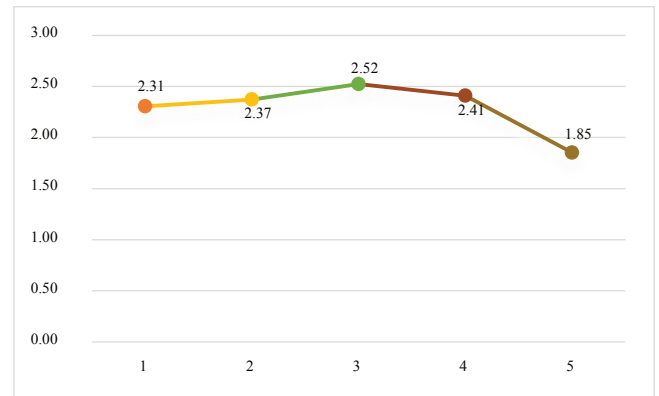
Diversidad

En cuanto al índice de Shannon-Weaver, la Figura 2 muestra que los valores están en el rango de

2.31 bits/ind en el punto de muestreo 1 (parte baja), 2.5 bits/ind en el punto de muestreo 3 (parte media) y 1.8 bits/ind en el punto de muestreo 5 (parte alta). Esto sugiere un valor de moderado a bajo con respecto a la diversidad de especies.

Figura 2.

Índice de diversidad Shannon-Weaver



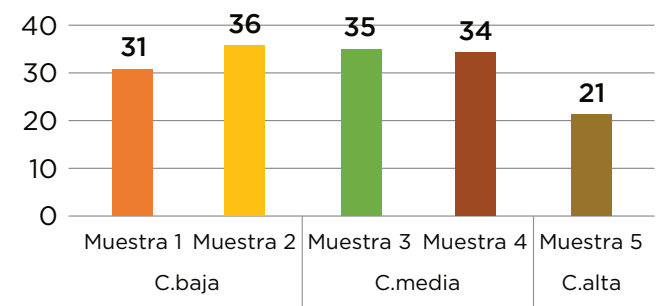
Nota. Elaboración propia.

Riqueza

En la Figura 3 se observa el número de familias recolectadas por sitio de muestreo, la muestra dos que corresponde a la parte baja, es donde se identifica mayor riqueza, hay 36 familias de las 49 en total. Seguida de la muestra tres y cuatro que corresponden a la parte media con 35 y 34 familias presentes.

Figura 3.

Riqueza taxonómica por sitio de muestreo

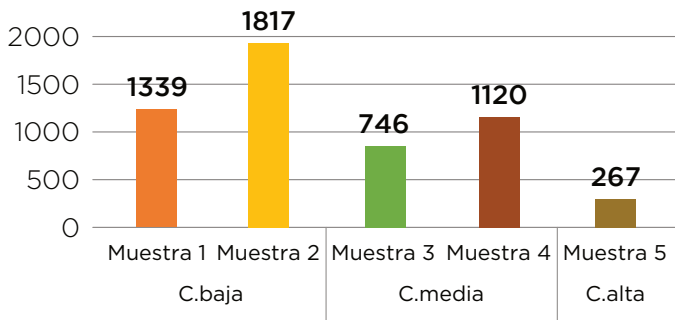


Nota. Elaboración propia.

En la Figura 4 se aprecian los valores para el índice de riqueza Margalef, en la parte baja de la cuenca el valor obtenido es de 4.17, en la parte media se registra el valor mayor con 5.14 y en la parte alta el menor valor con 3.58. Los valores indican que la riqueza de especies oscila de moderada a alta existiendo una gran variedad de especies.

Figura 4.

Índice de riqueza Margalef



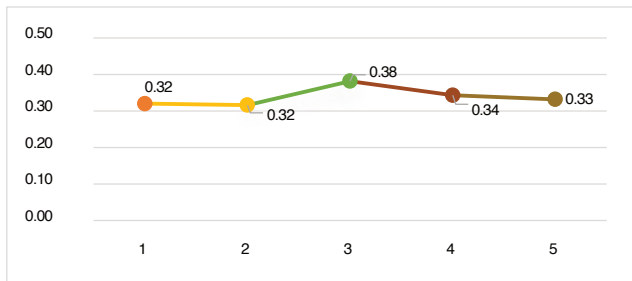
Nota. Elaboración propia.

Abundancia

En la Figura 5 se observa la abundancia de individuos recolectados por sitio de muestreo. La parte baja es la que mayor cantidad de individuos aporta con 3,156. Seguidamente, la parte media con 1,886 y, por último, la parte alta con 267.

Figura 5.

Abundancia por sitio de muestreo



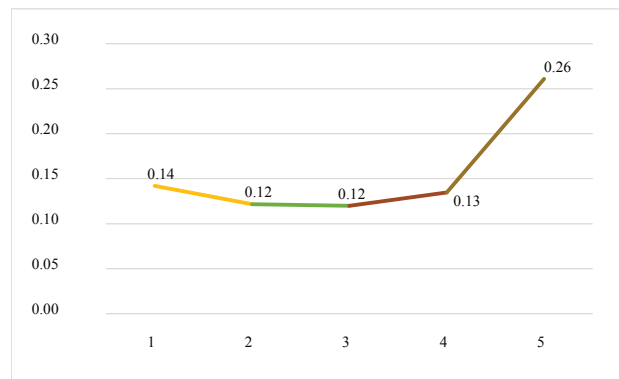
Nota. Elaboración propia.

Equitatividad

En la Figura 6 se aprecian los valores del índice de Pielou, que oscilan entre 0.32 en la parte baja, 0.38 en la parte media y 0.33 en la parte alta. Estos valores indican un bajo nivel de uniformidad, las comunidades de macroinvertebrados están dominadas por unas pocas especies y las otras se encuentran en menor abundancia.

Figura 6.

Índice de uniformidad de Pielou

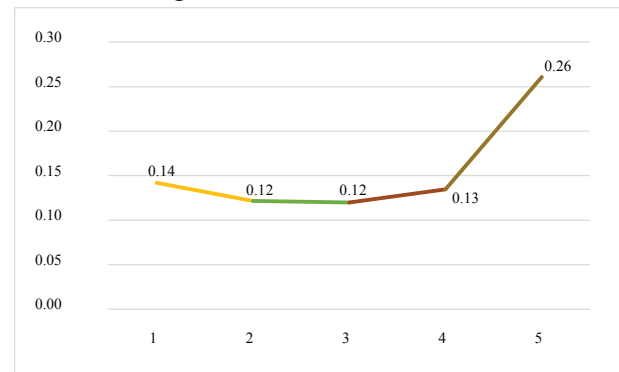


Nota. Elaboración propia.

En la Figura 7 se aprecian los valores para el índice de Simpson, estos varían entre 0.12 y 0.14 en la parte baja y media lo cual indica una alta diversidad con pocas especies dominantes. Mientras tanto, la parte alta presenta un valor de 0.26 lo cual refleja una alta diversidad, pero con cierta dominancia de algunas especies.

Figura 7.

Dominancia por sitio de muestreo



Nota. Elaboración propia.

b. Calidad del agua

Índice biótico EPT

La calidad del agua es similar en la época seca y lluviosa. Durante la época seca, en la parte baja y media de la cuenca el agua tiene una calidad buena mientras que en la parte alta es regular. Por el contrario, en la época lluviosa en la parte baja se registra una calidad muy buena para la muestra 1 y buena para la 2. La parte media reporta una calidad de agua buena y en la parte alta, la calidad del agua es mala.

Tabla 1.

Índice calidad de agua EPT época seca

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Ephemeroptera	311	704	207	376	55
Plecoptera	54	45	26	26	2
Trichoptera	422	542	177	217	42
Abundancia	787	1291	410	619	99
% EPT	58.8	71.1	55.0	55.3	37.1
	Buena	Buena	Buena	Buena	Regular

Nota. Elaboración propia.

Tabla 2.

Índice calidad de agua EPT época lluviosa

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Ephemeroptera	579	354	405	565	10
Plecoptera	19	23	29	9	
Trichoptera	858	219	249	123	4
Abundancia	1456	596	683	697	14
% EPT	80	60	67	70	7
	Muy buena	Buena	Buena	Buena	Mala

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3.

Valores del índice EPT

Índice EPT (%)	Calidad de Agua
75 - 100	Muy buena
50 - 74	Buena
25 - 45	Regular
0 - 24	Mala

Nota. Adaptado de Carrera y Fierro (2001), p. 43.

Discusión de resultados

El índice de Shannon-Weaver oscila entre valores de 1.85 a 2.52 bits/ind lo cual indica que son valores medios y compagina con lo mencionado por Nuñez y Fragoso-Castilla (2019). La riqueza de Margalef presenta valores entre 3.58 a 5.14, lo que indica una riqueza de moderada a alta, estos valores son superiores a los reportados por Purihuamán-Leonardo y Sánchez-Bustamante (2022), cuyo estudio reporta valores de riqueza media de 2.30. Los valores del índice de Simpson varían entre 0.12 y 0.26, lo cual indica que la parte baja y media del río presenta baja dominancia (Nuñez y Fragoso-Castilla, (2019).

Además, la riqueza y abundancia de taxones disminuye conforme se aumenta el gradiente de altitud de la parte baja de la cuenca (1095 msnm) hacia la parte alta (1928 msnm), esto se debe a que la altitud juega un papel importante en el desarrollo de los ciclos de las especies. Estudios han demostrado que las comunidades de macroinvertebrados en lagos alpinos a lo largo de un gradiente altitudinal, tienden a tener una menor riqueza de especies en altitudes más altas debido a condiciones ambientales más extremas, como temperaturas del agua más frías y temporadas de crecimiento más cortas (Arana et al., 2021).

Existe poca diferencia entre los valores de la época seca y la lluviosa, la diferencia entre los valores puede deberse principalmente a que durante la época lluviosa parte de los macroinvertebrados son arrastrados por las corrientes, lo que deja menor cantidad de individuos por colectar (González-Tuta et al., 2023).

Otra situación por tomar en cuenta es la pendiente y el ancho del río, en la parte baja y media, la anchura del río y su pendiente es menor que en la parte alta. Al existir una mayor pendiente y disminuir el ancho del río en la parte alta, ocasiona que los macroinvertebrados tengan baja adhesión y sean fácilmente arrastrados por el río.

Conclusiones

1. Las comunidades de macroinvertebrados evaluadas en el río Cotón presentan una

diversidad de especies de moderada a baja; en cuanto a la riqueza de especies, estas se encuentran en valores de moderada a alta. Además, presentan bajos niveles de uniformidad. Por último, las comunidades presentan valores bajos de dominancia lo cual sugiere una buena mezcla de especies en la comunidad.

2. El río Cotón presenta una calidad de agua buena y muy buena en la parte baja y media de la subcuenca, pero en la parte alta la calidad de agua varía de regular a mala dependiendo de la estación en la que se analice. Estos resultados proveen información importante y se considera como un complemento a los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos para el análisis de un cuerpo de agua.

Recomendaciones

1. Realizar estudios para explicar cómo varían las comunidades de macroinvertebrados según la altitud, ya que este aspecto es importante para evaluar la salud de los ecosistemas de agua dulce y para desarrollar estrategias efectivas de conservación y manejo.

Referencias

- Arana, J., Tolentino, D. Álvarez, Miranda, R. ., Tobes, I., Araujo-Flores, J., Carrasco-Badajoz, C., & Rayme-Chalco, C. (2021). Distribución altitudinal de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables ambientales en un sistema fluvial amazónico (Perú). *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 45(177), 1097–1112.
- Carrera, C. y Fierro, K. (2001). *Manual de monitoreo los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Fundación EcoCiencia. Quito. Ecuador.
- IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1976. *Mapa topográfico de la república de Guatemala; hoja cartográfica Granados 2060 I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.*
- González-Tuta, A.L., Gil-Padilla, L.N, & Pinilla-Agudelo, G.A. (2023). Evaluación del estado ecológico del río Ánimas mediante índices multimétricos en Cerinza, Boyacá. *Acta Biológica Colombiana*, 28(2), 239-250.
- López Mendoza, Santiago; Huertas Pineda, David; Jaramillo Londoño, Ángela María; Calderón Rivera, Dayam Soret; Díaz Arévalo, José Luis Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia) *Ingeniería y Desarrollo*, 37(2), 2019.
- Margalef, D.R. 1958. *Information Theory in Ecology. General Systematics*, 3: 36-71.
- Margalef, R. 1972. Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. In: *Growth by Intussusception. Ecological Essays in honor of G.E. Hutchinson*. E.S. Deevey ed. *Trans. Connecticut Acad. Arts & Sci.*, 44: 211-235.
- Martella, M. B., Trumper, E. V, Bellis, L. M., Renison, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., & Gleiser, R. M. (2012). Manual de ecología: Evaluación de la biodiversidad esfuerzo de muestreo. *In Reduca (Biología)*, 5(1), 71–115.
- Martínez-Arévalo, J. V. (2022). El cálculo de diversidad biológica. Parte I: Diversidad biológica alfa. *Revista Tikalia*. 41(1), 48-62.
- Meza, A.; Rubio, J.; Dias, L. y Walteros, J. (2012). *Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná. Caldasia*. 34(2), 443-456.
- Mora-Donjuán, C. A., Burbano-Vargas, O. N., Méndez-Osorio, C., & Castro-Rojas, D. F. (2017). Evaluación de la biodiversidad y caracterización estructural de un Bosque de Encino (*Quercus L.*) en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 14(35), 68–75.

- Núñez, J. & Fragoso-Castilla, P. (2019). Uso de Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación del Agua de la Ciénaga Mata de Palma (Colombia). *Información tecnológica*, (30). 319-330.
- Pielou, E.C. 1969. *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley-Interscience. New York. 286 pp.
- Purihuamán-Leonardo, C. N., & Sánchez-Bustamante, E. F. (2022). Comunidades de macroinvertebrados bentónicos como bioindicador de calidad de agua en un sector del río Chotano, Perú. *Revista Tecnología En Marcha*, 35(3), 117–127.
- Shannon, C. E. y W. Weaver. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University Illinois Press, Urbana, IL.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of Diversity. *Nature*, 163: 688.
- Roldán, G. (1996). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos* del Departamento de Antioquia. Fondo Fen Colombia/Colciencias/Universidad de Antioquia. p. 234
- Rosales, LE & Sánchez, MS 2013. Uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad del agua del río Palacagüina, Norte de Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio Ambiente, tecnología y desarrollo*, 8:66-75.
- Springer, M. (2010). Capítulo 3: Biomonitorio acuático. *Rev. Biol. Trop.* 58(4), 53-59
- Sumudumali, R.G.I., Jayawardana, J.M.C.K. A Review of Biological Monitoring of Aquatic Ecosystems Approaches: with Special Reference to Macroinvertebrates and Pesticide Pollution. *Environmental Management* 67, 263–276 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01423-0>

Información de los autores

Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Wagner Guillermo Alonzo De León, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. Maestro en Producción y Uso de Plantas Medicinales, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018. Candidato a Doctor en Doctorado en Cambio Climático y Sostenibilidad, 2024.

Afiliación laboral: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Chimaltenango (CUNDECH).

Ingeniero Agrónomo, Pedro Julio García Chacón Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1985. Maestro en Conservación y Gestión del Medio Natural: Integración de Sistemas Naturales y Humanos. Universidad Internacional de Andalucía España, 2003. Doctor en Recursos Naturales para el Desarrollo, UNED/UNA/UNAM, Costa Rica/México. 2015

Afiliación laboral: Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, CEMA, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Norma Edith Gil Rodas de Castillo, Química Bióloga, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1992. Maestra en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.

Afiliación laboral: Centro de Estudios del Mar y Acuicultura CEMA Universidad de San Carlos de Guatemala.