

MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN LA VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AMBIENTE ACUÁTICO EN CAUCES VADEABLES DE LA CUENCA DEL RÍO COPALITA, OAXACA

Ricardo Miguel Pérez-Munguía¹✉, Idolina Molina León¹, Salvador Zárate Miguel², Ángela Ibeth Ramírez-Hernández², Gildardo Gutiérrez-Gutiérrez², Gerardo Valian-Abad², Salvador Lozano-Trejo², Raúl Pineda-López³ e Ignacio Daniel González-Mora⁴.

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Santiago Tapia # 403, Col. Centro, Morelia, Michoacán, C. P. 58000.

²Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), Ex-Hda. de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, C. P. 71230.

³Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). C.U. Cerro de las Campanas s/n, Cp. 76010, Querétaro, Querétaro, México.

⁴Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF-México). Av. México 51, Hipódromo Delegación Cuauhtémoc, C. P. 06100, Ciudad de México.

✉ Autor de correspondencia: pmunguiaricardo@gmail.com

RESUMEN. En México, la degradación ambiental de los ríos, se monitoreaba con base en el Índice de Calidad del Agua (ICA). A partir del 2005 la Comisión Nacional del Agua, utiliza como indicadores de esta valoración a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), que únicamente explican degradación por contaminación. En el presente trabajo se analizó el uso de cuatro metodologías complementarias para monitorear la condición ecosistémica de cauces vadeables en la cuenca del río Copalita. Los resultados de la evaluación de la calidad del agua, el estado más probable, la valoración de la calidad ambiental visual y el índice de integridad biótica basado en las asociaciones de macroinvertebrados acuáticos, permitieron reconocer un gradiente de deterioro ambiental que va de la cuenca alta a la cuenca baja, ordenado por el efecto combinado de la dureza total, nitritos, turbidez y el caudal; así como la riqueza de familias, la riqueza de insectos intolerantes, la riqueza de taxones intolerantes, el total de taxa fijos y el valor del índice de integridad biótica. Estas variables conjugan elementos estructurales y funcionales de los ecosistemas acuáticos para estimar el estado aproximado de sus procesos ecológicos.

Palabras clave: Ecosistemas lóticos, calidad ambiental y macroinvertebrados acuáticos.

Aquatic macroinvertebrates in the assessment of the quality of the aquatic environment in wadeable waters of the river basin Copalita, Oaxaca

ABSTRACT. In Mexico, the environmental degradation of rivers was monitored based on the Water Quality Index (ICA). As of 2005, the National Water Commission uses the Biochemical Oxygen Demand (BOD₅), Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Suspended Solids (TSS), as indicators of this assessment, which only explain degradation by contamination. In the present work the use of four complementary methodologies to monitor the ecosystem condition of wadeable channels in the Copalita river basin, was analyzed. The results of the evaluation of water quality, the most probable state, the assessment of visual environmental quality and the index of biotic integrity based on the associations of aquatic macroinvertebrates, allowed us to recognize a gradient of environmental deterioration that goes from the upper basin to the lower basin, ordered by the combined effect of total hardness, nitrites, turbidity, and flow; as well as the wealth of families, the wealth of intolerant insects, the wealth of intolerant taxa, the total of fixed taxa and the value of the biotic integrity index. These variables combine structural and functional elements of aquatic ecosystems to estimate the approximate state of their ecological processes.

Keywords: Lotic ecosystems, environmental quality and aquatic macroinvertebrates

INTRODUCCIÓN

La urgente necesidad de monitorear nuestros ecosistemas, hace imperante el desarrollo de modelos científicamente válidos, de fácil acceso a la sociedad civil que permitan intensificar el monitoreo biofísico, considerando que el ser humano y sus acciones son parte de los ecosistemas. Con estas

bases se ha concebido un modelo para observar a los ambientes acuáticos en la búsqueda de estimar las posibilidades de conservar socio ecosistemas sustentables. Los métodos para la medición de la calidad de los ambientes acuáticos son muy diversos y se encuentran basados en tres aspectos: calidad física, química y biológica del medio. Estos aspectos se interrelacionan entre sí, por lo que cualquier alteración dentro y fuera del sistema puede provocar la disminución de la heterogeneidad ambiental, lo que se manifiesta en una pérdida de la diversidad biológica (Barbour *et al.* 1999).

Este trabajo pretende analizar el uso combinado de evaluación de la calidad del agua, el estado más probable, la valoración de la calidad ambiental visual y el índice de integridad biótica basado en las asociaciones de macroinvertebrados acuáticos, como cuatro metodologías complementarias para monitorear la condición ecosistémica de ríos y arroyos vadeables en la cuenca RH21b.

MATERIALES Y MÉTODO

Se seleccionaron cuatro sitios de muestreo dentro de la cuenca RH21Ba Río Copalita y otros del estado de Oaxaca: dos en el cauce del Río Santa Anita (S1 Jalatengo y S2 Finca Copalita), que forman parte de la zona erosiva de la subcuenca (cuenca alta) y dos en el cauce del río Copalita, uno en la zona de transporte (S3 Amaca) y otro en la zona de sedimentación (S4 Barra Copalita) con una variación altitudinal que va de los 1390 a los 18 msnm (Figura 1).

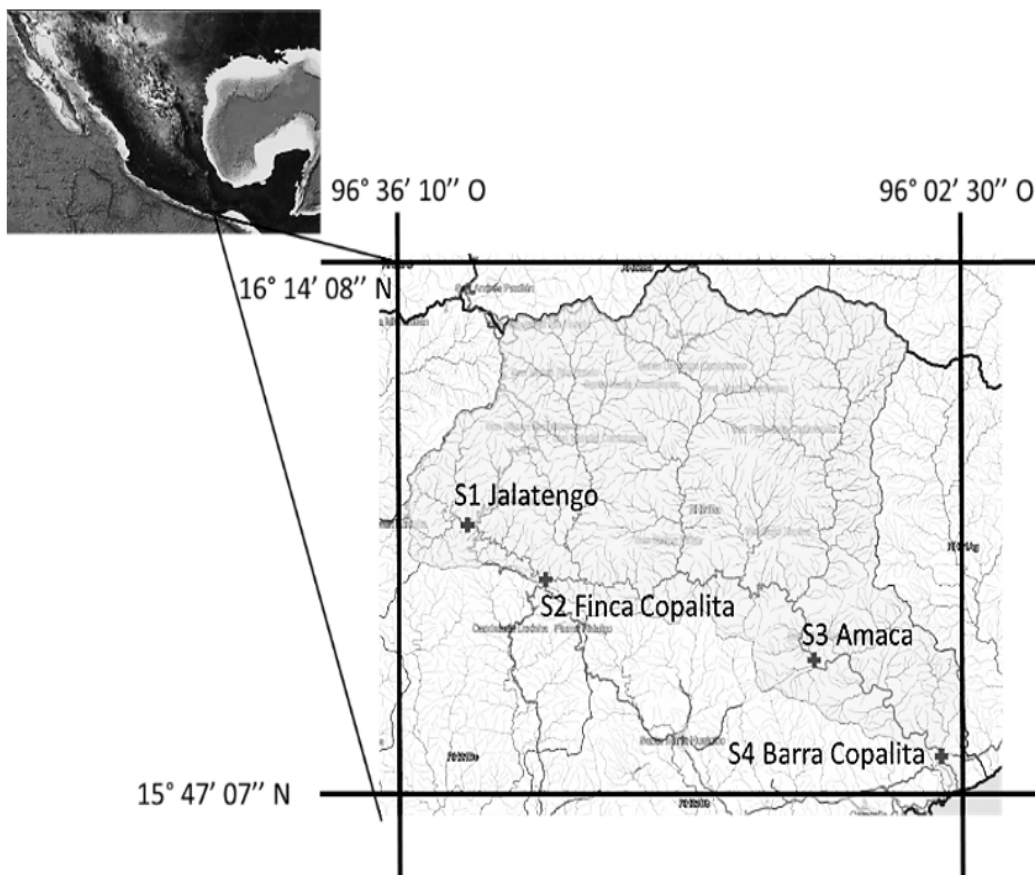


Figura 1. Localización de los sitios de estudio (modificado de Google Earth 2020 y SIATL-INEGI 2020)

Se muestreó en la época de sequía y en la post lluvia con la finalidad de reconocer la variación en el ambiente provocada por el incremento del caudal, puesto que de acuerdo a Barbour *et al.* (1999), en el estío las comunidades acuáticas son más estables.

Se consideraron cuatro aspectos metodológicos: **I**) Índice de calidad del agua, valorado a partir de variables físicas, fisicoquímicas y bacteriológicas, conforme a la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, octubre 2000), **II**) Estado más probable (geomorfología), de acuerdo a los criterios de Rosgen (1996). **III**) Ambiente, se aplicó la metodología propuesta por Barbour *et al.* (1999). **IV**) Índice de integridad bótica para las asociaciones de macroinvertebrados acuáticos (IIBAMA), desarrollado para ríos y arroyos del centro de México por Pérez-Munguía y Pineda-López (2005).

Para reconocer las relaciones entre las variables valoradas para los distintos ejes metodológicos, se hicieron análisis de agrupamiento con la herramienta UPGMA, análisis de ordenamiento empleando las técnicas de componentes principales (ACP) y de correspondencia sin tendencias (DECORANA), utilizando los paquetes JMP v. 8.0 (SAS Institute 2008) y MVSP v.3.01 (Kovach Computing Services 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de correspondencia sin tendencias (DECORANA), usando las variables ambientales (Figura 2), muestra un gradiente que va de la zona erosiva (cuenca alta), a la zona de transferencia (cuenca media) y zona de depósito (cuenca baja).

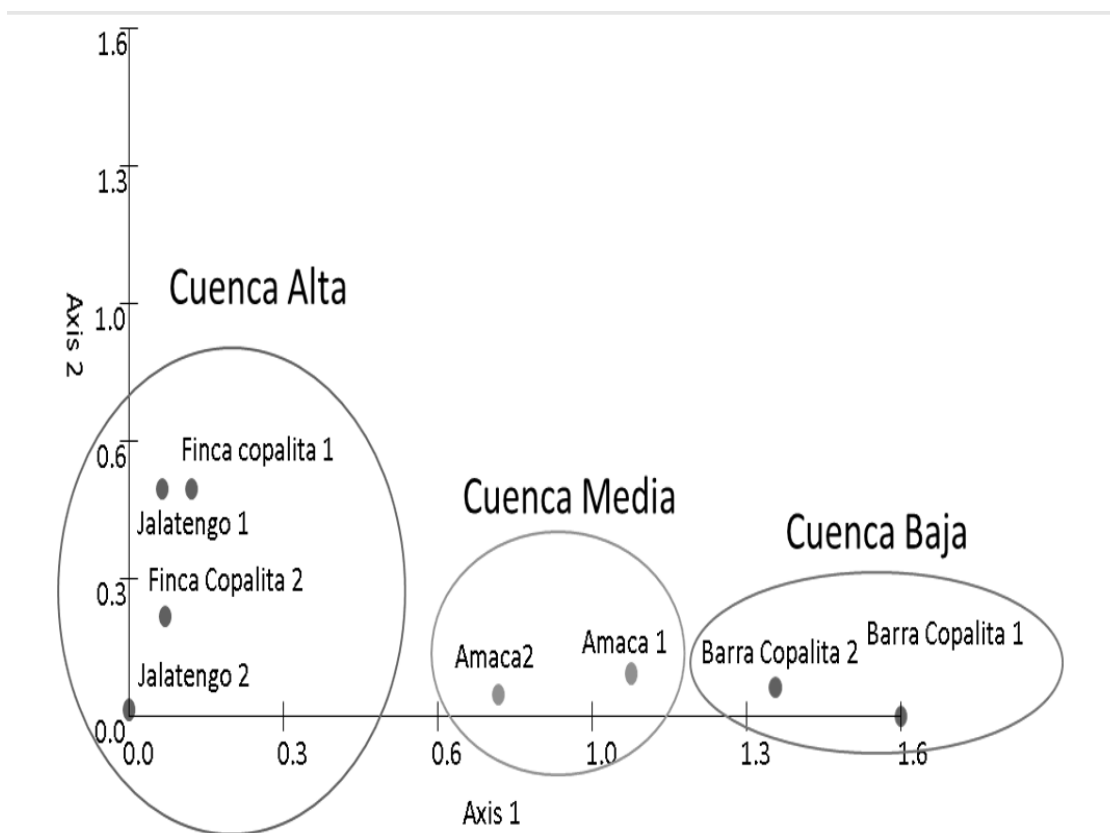


Figura 2. Gráfico de salida del Análisis DECORANA de los sitios de muestreo en la cuenca RH21B Costa de Oaxaca, río Copalita y otros, usando variables ambientales

Este arreglo espacial está ordenado en dos ejes con un 74.04 % de explicación de la variación, con base en la dureza total, nitritos y turbidez, variables de la calidad del agua que disminuye hacia la parte baja (Figura 3), aunque el índice de calidad del agua se mantiene en la categoría de aceptable, lo que le hace apta para la protección de la vida silvestre. El gradiente observado se debe a que las variables que más explican el ordenamiento incrementan sus valores de la parte alta a la baja: dureza total (47.33 a 286.67 ppm), nitritos (0 a 0.01 ppm), turbidez (8.60 a 13.70 NTUs); además del incremento del caudal (0.48 a 7.70 m/s). Conforme al acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89 (DOF 1989), los valores de nitritos están por debajo de los límites permisibles para la protección de la vida acuática, en tanto que los de dureza y turbidez, les hacen aptas para el cultivo de diferentes especies de valor comercial.

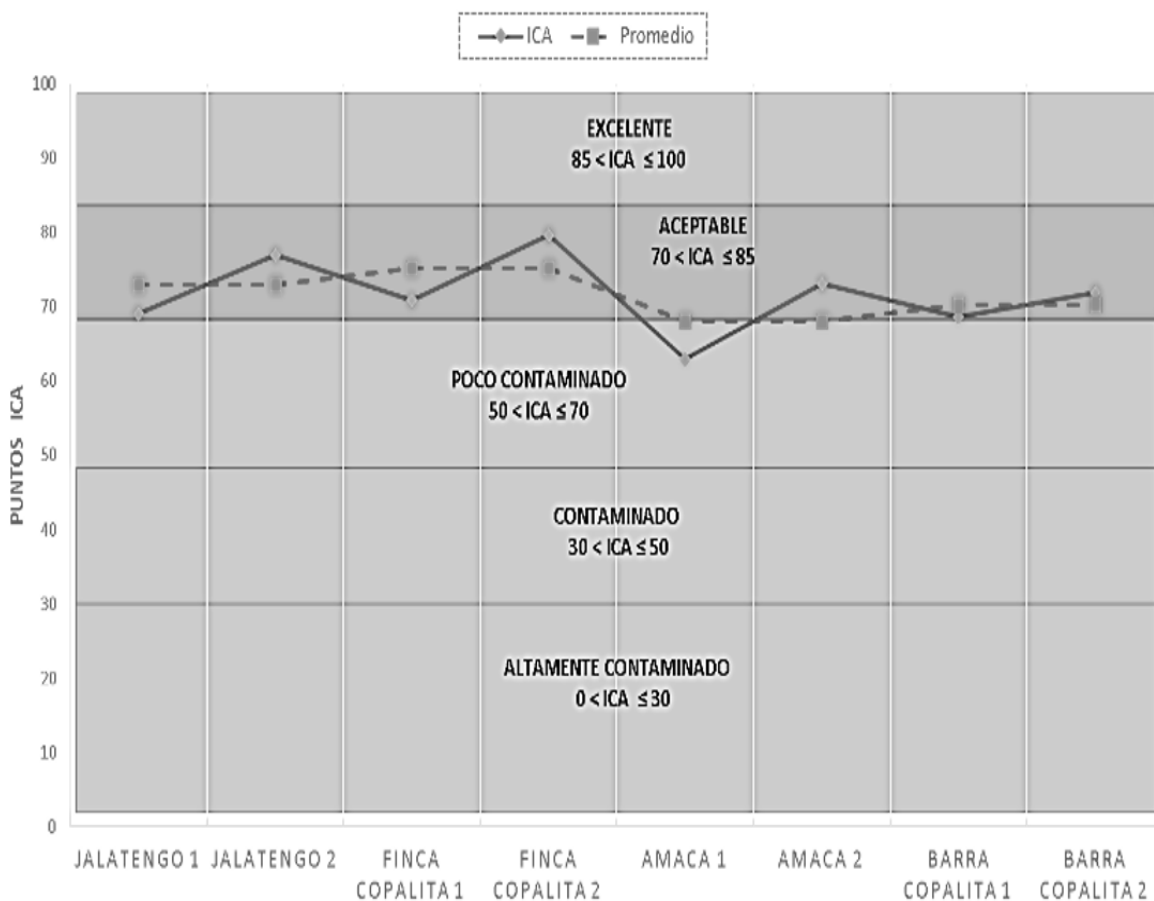


Figura 3. Valores del Índice de Calidad del Agua (ICA) de los sitios de muestreo en la cuenca RH21B Costa de Oaxaca, río Copalita y otros

En términos geomorfológicos el ordenamiento va de cauces más angostos a más anchos, conforme al ancho del área de inundación (24.41 a 422.47 m) y tasa de confinamiento (1.16 a 8.74); en el modelo geomorfológico de Rosgen (2001), las variables medidas permiten comprender la respuesta del canal a las perturbaciones y la estabilidad, por aquellos factores que directamente controlan

el equilibrio o desequilibrio entre las fuerzas aplicadas y la resistencia límite. Por último, este ordenamiento va de sitios de calidad ambiental óptima (175 puntos) a de calidad subóptima (135 puntos). De acuerdo con Pineda-López *et al.* (2014), la condición óptima corresponde con sitios comparables con el ambiente natural y se trata de zonas prioritarias para la conservación de los procesos ecosistémicos; las alteraciones eco hidrológicas son nulas o mínimas y se conservan los regímenes naturales. En tanto que, en la condición subóptima es sostenible y se conservan los que mantienen los mecanismos de transporte y disipación de la energía dentro del cauce, y las alteraciones al régimen natural, son moderadas.

Para la determinación del IIBAMA, se consideraron únicamente las 62 familias de las 65 encontradas, de las que se conocen la valencia de tolerancia, el gremio trófico y los hábitos de vida. En el cuadro 1, se muestran los valores de las variables y del índice de integridad Biótica basado en las Asociaciones de Macroinvertebrados Acuáticos. Con excepción de la Finca Copalita 1, en general los valores de las variables del índice tienen valores más altos en el periodo de las post lluvias; sin embargo, el valor del índice es muy cercano para el mismo sitio y la valoración del IIBAMA se mantiene dentro de la misma categoría. Estas variaciones en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, son provocadas por el efecto de deriva asociada al incremento del caudal (Dávila-Rencinos *et al.* 2019 y Vázquez-Ramos y Reinoso-Flores 2012). Conforme al análisis de componentes principales, el 96.91 % de la variación se explica en un componente principal integrado por la riqueza de familias (0.599), la riqueza de insectos intolerantes (0.363), la riqueza de taxa intolerantes (0.363), el total de taxa fijos (0.388) y el valor del índice de integridad biótica (0.419).

Cuadro 1. Valores de las variables y del índice de integridad biótica basado en los macroinvertebrados acuáticos

SITIO	S	REPT	RII	RTI	TM	TF	IIBAMA	CAT IIBAMA
Jalatengo 1	21	10	12	12	4.85	14	17	Buena
Jalatengo 2	34	14	20	20	5.25	21	21	Buena
Finca Copalita 1	30	13	18	18	4.9	21	23	Excelente
Finca Copalita 2	21	10	12	12	4.65	14	17	Buena
Amaca 1	23	10	16	16	4.52	14	20	Buena
Amaca 2	25	11	17	17	4.72	18	21	Buena
Barra Copalita 1	8	4	6	6	4.75	6	8	Pobre
Barra Copalita 2	11	6	6	6	5.36	7	6	Pobre

S = Riqueza de familias. **REPT** = Riqueza de familias de Efemerópteros, Plecópteros y Tricópteros. **RII** = Riqueza de Insectos Intolerantes. **RTI** = Riqueza de Taxa Intolerantes. **TM** = Tolerancia Media. **TF** = Total de taxa fijos. **IIBAMA** = Valor del Índice de Integridad Biótica. **CAT IIBAMA** = Categoría de la Integridad Biótica.

Utilizando el porcentaje de similitud, del efecto combinado de estas variables, los sitios se acomodan en dos grupos, en el sentido de la cuenca alta hacia la cuenca baja (Figura 4), excepto que Jalatengo 2, que corresponde a la cuenca alta, forma un grupo separado debido al efecto de deriva que provocó la disminución de la riqueza de por pérdida de familias de insectos intolerantes de hábitos fijos (Blephariceridae, Tipulidae, Ephemeraeidae, Helicopsychidae, Lepidostomatidae, Leptoceridae, Polycentropodidae y Psychodidae), de hábitos excavadores (Dolichopodidae y Noctuidae), de hábitos nadadores (Naucoridae) y de hábitos patinadores (Gerridae).

Los análisis de beta similitud por época, con las mismas variables, ratifican los resultados anteriores, puesto que en ambas épocas el porcentaje de similitud de los sitios de la cuenca alta y media, mantienen valores mayores al 80 %, en tanto que la cuenca baja no supera el 60 % de similitud con los demás sitios, lo que hace que por separado forma un grupo aparte, en tanto que Jalatengo 1 (estío) en ambas épocas mantiene similitudes superiores al 80 % con los sitios de cuenca alta y media.

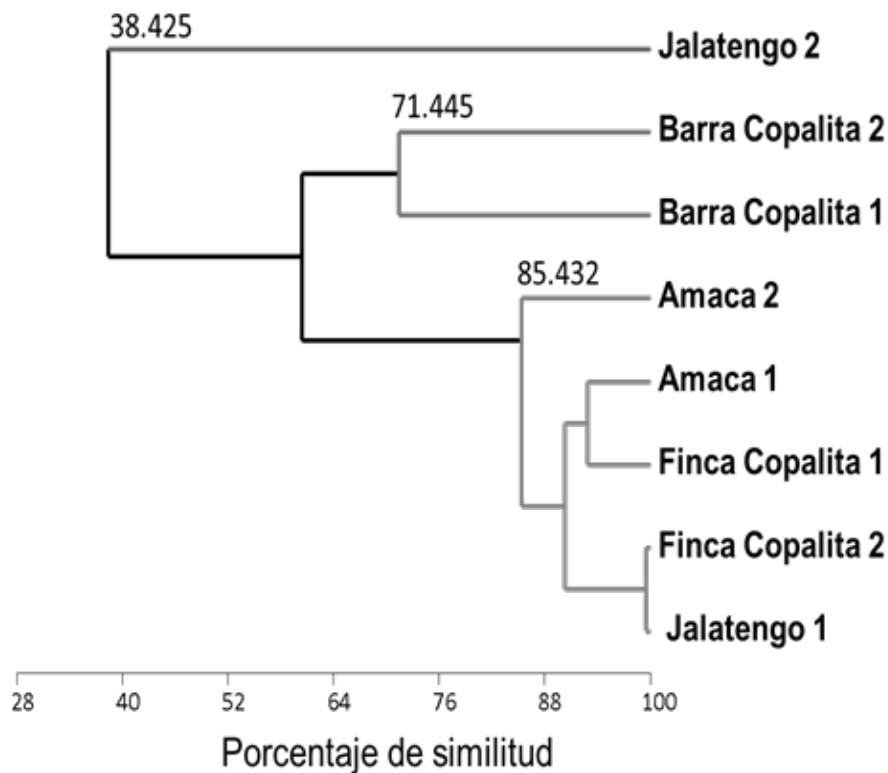


Figura 4. Agrupamiento de los sitios de muestreo en la cuenca RH21B Costa de Oaxaca, río Copalita, con base variables medidas de estructura de la comunidad y de integridad biótica.

El análisis de Correspondencia sin Tendencias (DECORANA), usando las variables del IIBAMA, muestra un gradiente ordenado en dos ejes con un 82.95 % de explicación de la variación, en el que se observa que los sitios de cuenca alta y media se mezclan, en tanto que la cuenca baja se separa, esto ocurre debido a que los primeros son de integridad buena, que de acuerdo con Pineda-López *et al* (2014), Las comunidades de macroinvertebrados acuáticos tienen una composición que ha

sido afectada, puesto que se han perdido los taxa más intolerantes y en especial los de hábitos fijos; pero aún es sostenible puesto que la organización funcional se conserva. De igual modo, cuando los impactos no han modificado la capacidad de transporte del flujo, se puede asociar a la condición de calidad ambiental óptima, en especial si la degradación ambiental no ha embebido a los sustratos, como es el caso de los sitios de la cuenca alta, en la cuenca media los sustratos son dominados por rocas pequeñas y guijarros grandes, lo que hace un ambiente heterogéneo que permite el asentamiento de la macrofauna. Los sitios de cuenca baja, se separan puesto que tienen una integridad biótica pobre.

El análisis DECORANA utilizando las variables explicativas de la variación de los cuatro ejes metodológicos (figura 5), ordena a los sitios de cuenca alta hacia la cuenca baja, reconociéndose un gradiente de degradación de la calidad del agua, la calidad ambiental, modificaciones a la llanura de inundación y pérdida de la diversidad biológica, que han resultado de las alteraciones provocadas al cauce por las actividades turísticas y recreativas que ocurren en la Barra Copalita, que han derivado en la pérdida de la vegetación riparia y ribereña, así como la modificación de los sustratos a un ambiente homogéneo; con lo que ha disminuido la calidad ambiental, al tiempo que es una zona con descargas urbanas que han disminuido la calidad del agua. Las afectaciones provocadas por estos usos, fueron observados por Pineda-López *et al* (2014), dentro del Programa Nacional de Reservas Potenciales de Agua en México, en especial por la falta de claridad en la delimitación de la zona federal en la ley de aguas nacionales. En la norma mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas, se considera que la zona federal queda incluida dentro del espacio lateral de los cauces donde ocurre el régimen de caudales (Secretaría de Economía 2012), es el primer documento oficial que en México incluye el concepto de ribera máxima (bankfull stage), en el cual se basan los análisis geomorfológicos.

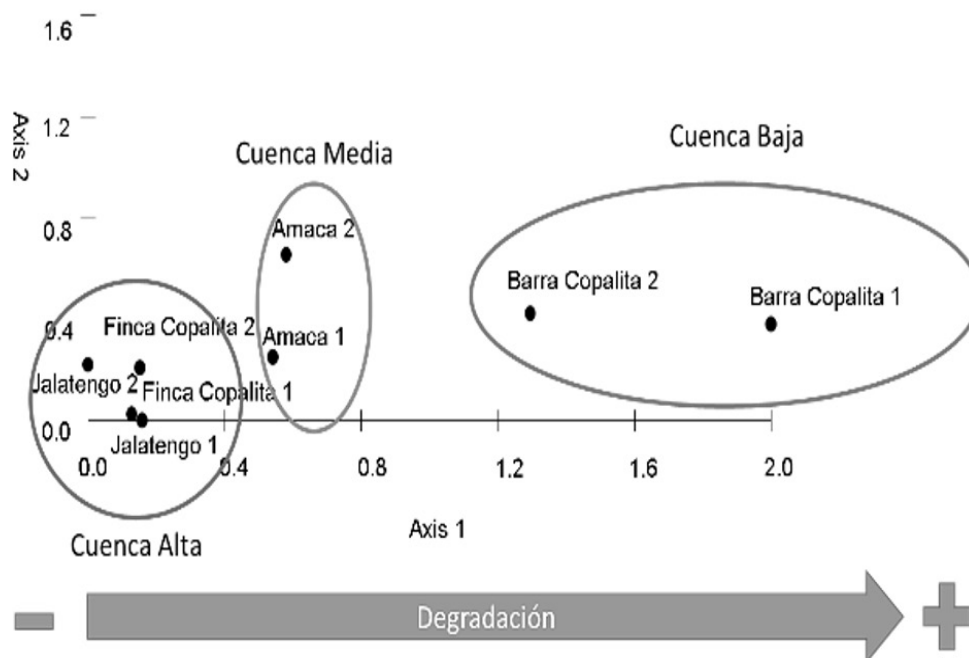


Figura 5. Gráfico de salida del Análisis DECORANA de los sitios de muestreo en la cuenca RH21B Costa de Oaxaca, río Copalita y otros, usando los cuatro ejes metodológicos

CONCLUSIONES

La valoración de la dureza total, nitritos y turbidez, de la calidad del agua; el caudal; de la calidad ambiental visual y el IIBAMA, permiten monitorear la condición ambiental de cauces vadeables en la cuenca RH21B Costa de Oaxaca, río Copalita y Otros. Aunque se recomienda su uso en la época de estío, para evitar confusiones provocadas por el efecto de deriva asociadas a caudales propios de la época de lluvia. Por otro lado, geomorfológicamente se pudo apreciar que la falta de una clara delimitación de la ribera máxima y del área de inundación, promueven afectaciones por el uso con fines recreativos y turísticos de estas zonas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al proyecto CONACYT 2017-01- 5526 “Observatorio Nacional para la Sustentabilidad y Socio Ecológica”, a la WWF-México, a la Asociación Civil Mbiz Bin Semilla para la Siembra, a la UMSNH, a la UAQ, a la UNAM, y al ITVO

LITERATURA CITADA

- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., and Stribling, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and Fish* (2nd ed.). Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2010. *Estadísticas del agua en México, edición 2010*. SEMARNAT. 249 pp.
- Dávila-Recinos, G., J. R. Ortiz-Aldana y F. Reyes-Morales. 2019. Efecto del microhábitat sobre la abundancia y riqueza específica de los macroinvertebrados bentónicos en dos ríos tropicales de montaña, Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*. 6(1): 7-21. <http://dx.doi.org/10.36829/63CTS.v6i1.%25>
- DOF. 1989. *Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Aguas CE-CCA-001/89*: 13/12/1989
- DOF. 2000. *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994*. 20 de octubre de 2000.
- Kovach Computing Services. (2013). *Multivariate Statistical Package (MVSP) v. 3.22*
- Pérez-Munguía, R.M. y R. Pineda-López. 2005. Diseño de un Índice de Integridad Biótica, para ríos y arroyos del Centro de México, usando las asociaciones de Macroinvertebrados. *Entomología mexicana* 4: 241-245.
- Pineda-López, R., R. M. Pérez-Munguía, C. Mathuriau, T. Bernal y E. Barba- Macías. 2014. *Protocolo de análisis de macroinvertebrados en la nmx-aa-159-scfi-2012. Evaluación del Régimen de Caudal Ecológico y Propuesta de Reserva de Agua en una Cuenca Piloto del Programa Nacional de Reservas Potenciales de Agua en México*. Informe Técnico. Inédito. Programa Nacional de Reservas Potenciales de Agua como Medida de Gestión
- Rosgen, D. 1996. *Applied river morphology*. USA: Wildeland Hydrology.
- Rosgen, D.L. 2001. A stream channel stability methodology. *Proc., Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference*, Reno, NV. p. II-18 a II-26.
- SAS Institute. 2008. *JMP v.8. Statistical, Discovery from SAS*.
- Secretaría de Economía. 2012. *NMX-AA-159-SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas*. México. 118 pp.
- Vásquez-Ramos, J. M. y Reinoso-Flórez, G. 2012. Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes colombianos. *Revista Colombiana de Entomología* 38(2), 351-358. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-04882012000200030