







## Artículo de Investigación / Research Article

**Macroinvertebrados acuáticos en manantiales de la subcuenca río Copalita, Oaxaca, México**

Aquatic macroinvertebrates in springs of the Copalita River sub-basin, Oaxaca, Mexico

Adriana Araceli García-Ortiz<sup>1</sup> , Salvador Lozano-Trejo<sup>2\*</sup> , Ricardo Miguel Pérez-Munguía<sup>3</sup> ,  
Idolina Molina-León<sup>3</sup> , Ernesto Castañeda-Hidalgo<sup>2</sup>  y Gustavo Omar Díaz-Zorrilla<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Programa de Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Tecnológico Nacional de México. Oaxaca, México. <sup>2\*</sup>Profesor-Investigador del Programa de Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Tecnológico Nacional de México. Oaxaca, México. ✉ \*salvador.lt@voaxaca.tecnm.mx. <sup>3</sup>Profesor/a-Investigador/a de la Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México.

ZooBank: urn:lsid:zoobank.org:pub:4A9D0142-C47D-4421-B030-0F18FBA4D518  
<https://doi.org/10.35249/rche.49.4.23.02>

**Resumen.** Los ecosistemas de agua dulce están expuestos a presiones antropogénicas que alteran el ambiente e influyen sobre las comunidades de macroinvertebrados. El objetivo de esta investigación fue estimar la diversidad taxonómica de macroinvertebrados acuáticos en manantiales de dos microcuencas pertenecientes a la subcuenca río Copalita, para determinar la estructura y la conservación de los manantiales. El estudio se realizó en mayo de 2022 en ocho manantiales. La recolecta de macroinvertebrados acuáticos se realizó mediante el uso de una red tipo D. Se calcularon índices de diversidad de Shannon y Wiener ( $H'$ ), diversidad de Simpson ( $\lambda$ ), similitud de Jaccard ( $I_j$ ), equitatividad de Pielou ( $J'$ ), riqueza (S) y dominancia (D). Se determinó la correlación existente entre las variables utilizando  $Rho$  de Spearman ( $p \leq 0,05$ ), se realizaron análisis clúster del índice y el porcentaje de similitud de Jaccard. Los manantiales en estudio son de tipo helocreno y reocreno, el sitio con mayor diversidad fue Arroyo Guajolote, caracterizado por una menor perturbación en su origen y no es aprovechado para abastecimiento humano. Se necesita un plan de manejo para conservar estos ecosistemas con el fin de garantizar una buena calidad de los servicios ambientales brindados.

**Palabras clave:** Diversidad; ecosistema acuático; microcuenca; perturbaciones.

**Abstract.** Freshwater ecosystems are exposed to anthropogenic pressures that alter the environment and influence macroinvertebrate communities. The objective of this research was to estimate the taxonomic diversity of aquatic macroinvertebrates in springs of two micro-watersheds belonging to the Copalita river sub-basin, to determine the structure and conservation of the springs. The study was conducted in May 2022 in eight springs. The collection of aquatic macroinvertebrates was carried out using a D-type net. Shannon and Wiener's diversity index ( $H'$ ), Simpson's diversity index ( $\lambda$ ), Jaccard's similarity index ( $I_j$ ), Pielou's evenness index ( $J'$ ), richness (S), and dominance (D), were calculated. The correlation between variables was determined using Spearman's Rho ( $p \leq 0,05$ ), cluster analysis of the index and Jaccard's similarity percentage. The springs studied are of the helocrene and rheocrene type; the site with the greatest diversity was Arroyo Guajolote, characterized

Recibido 23 agosto 2023 / Aceptado 5 octubre 2023 / Publicado online 31 octubre 2023  
Editor Responsable: José Mondaca E.

by less disturbance at its source and is not used for human supply. A management plan is needed to conserve these ecosystems and thus guarantee the quality of environmental services provided.

**Key words:** Aquatic ecosystem; conservation; disturbances; diversity; micro-watershed.

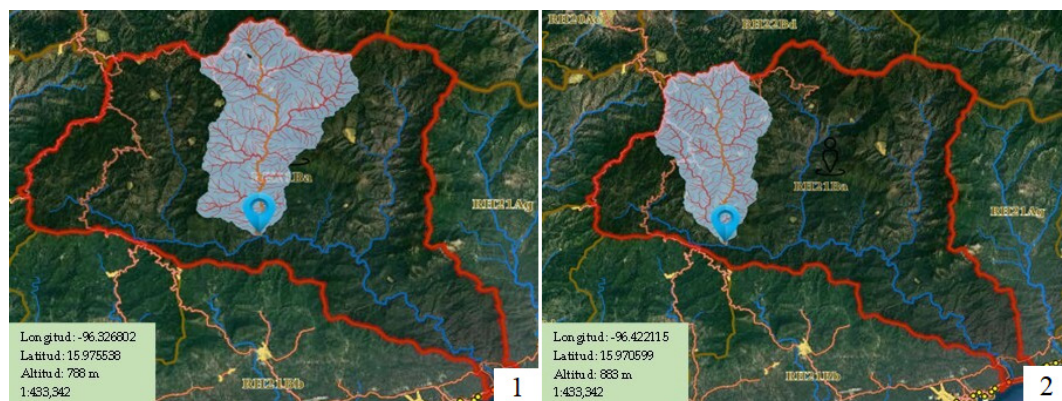
---

## Introducción

En los ecosistemas de agua dulce la diversidad de especies es muy alta si se compara con otros entornos. La conservación de esta diversidad, así como de los servicios ecosistémicos que brinda es un gran reto tanto socioeconómico como ambiental, ya que las especies que habitan estos medios ambientes constituyen el capital natural de un país (Bezaury-Creel *et al.* 2017). Los manantiales son ejemplos de hábitats acuáticos los cuales son suministrados por acuíferos; su formación se da cuando el nivel freático intercepta la superficie del terreno, o bien cuando el agua subterránea asciende debido a la presencia de material impermeable, los manantiales son considerados ecotonos de tres ecosistemas, ya que es el estado intermedio entre las aguas subterráneas, las superficiales y los ámbitos terrestres (Barquín-Ortiz 2007). De acuerdo con Barranco-Salazar (2018), los manantiales son cuerpos de agua naturales en los cuales el agua subterránea se filtra por el sustrato y emerge de forma natural a la superficie; estos lugares son ecológicamente importantes, ya que benefician al equilibrio del medio al fungir como hábitat de muchas especies; además de ser el lugar donde se entrelazan diversos procesos ecológicos. Los macroinvertebrados son organismos importantes en los procesos ecológicos de ambientes acuáticos, ya que son los encargados de transferir energía a los diferentes niveles tróficos, a este grupo pertenecen los filos Arthropoda, Mollusca, Annelida, Platyhelminthes, Nematoda y Nematomorpha (Habit *et al.* 2019; Hanson *et al.* 2010). Habitan en ambientes lóticos y lénticos, algunos se adhieren a vegetación, troncos de árboles o rocas que se encuentran sumergidas en el agua (Roldán-Pérez 2016), este hábito de vida se observa principalmente en los estados inmaduros, es decir, huevos y larvas, mientras que, la mayoría de los adultos no habitan en cuerpos de agua (Ladrera *et al.* 2013). Los macroinvertebrados acuáticos dominan los cuerpos de agua, presentan una elevada diversidad taxonómica, además de diversas adaptaciones morfológicas y de comportamiento para así aprovechar los diversos recursos tróficos que el ecosistema fluvial les brinda (Osejos-Merino *et al.* 2020). En los últimos años los estudios sobre estos organismos han cobrado gran auge, ya que proporcionan información importante sobre el estado actual de los ecosistemas acuáticos, al ser utilizados como bioindicadores de la calidad del agua, dando resultados confiables. Los manantiales brindan un caudal constante en ríos, siendo este un factor principal de la biodiversidad en los cuerpos de agua dulce (O'Keeffe y Le Quesne 2010). Existen diversas amenazas que pueden modificar la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, algunas de ellas, y de acuerdo con Ladrera-Fernández (2012) son: contaminación del agua, eutrofización, alteraciones morfológicas del hábitat, perturbación del caudal, introducción de especies invasoras, alteración de la vegetación circundante. Estas presiones alteran el ambiente e influyen sobre las comunidades de macroinvertebrados disminuyendo su diversidad, que muestra graves repercusiones, como la simplificación del sistema, la pérdida de integridad ecológica, y la disminución de la resiliencia a perturbaciones (Gualdoni y Oberto 2012). Los inventarios en manantiales son importantes para conocer la ecología de su ecosistema, y de esta manera evaluar, planificar e implementar acciones para un buen manejo de recursos (Stevens *et al.* 2018). En la subcuenca río Copalita, se han realizado diversos estudios relacionados con las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, pero sólo se han llevado a cabo en ríos. Por lo cual, el objetivo de la presente investigación fue caracterizar la estructura a nivel de familia de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en manantiales de dos microcuencas que forman parte de la subcuenca del río Copalita, Oaxaca, México.

## Materiales y Métodos

**Localización del área de estudio.** Los manantiales seleccionados se ubican en las microcuencas San Cristóbal (Fig. 1) y La Venta (Fig. 2), las cuales se anidan en la subcuenca río Copalita (RH21Ba) y que a su vez forma parte de la cuenca río Copalita y otros (RH21B), perteneciente a la región hidrográfica 21 denominada costa de Oaxaca (Puerto Ángel) ubicada en el estado de Oaxaca, México (INEGI-SIATL 2022).

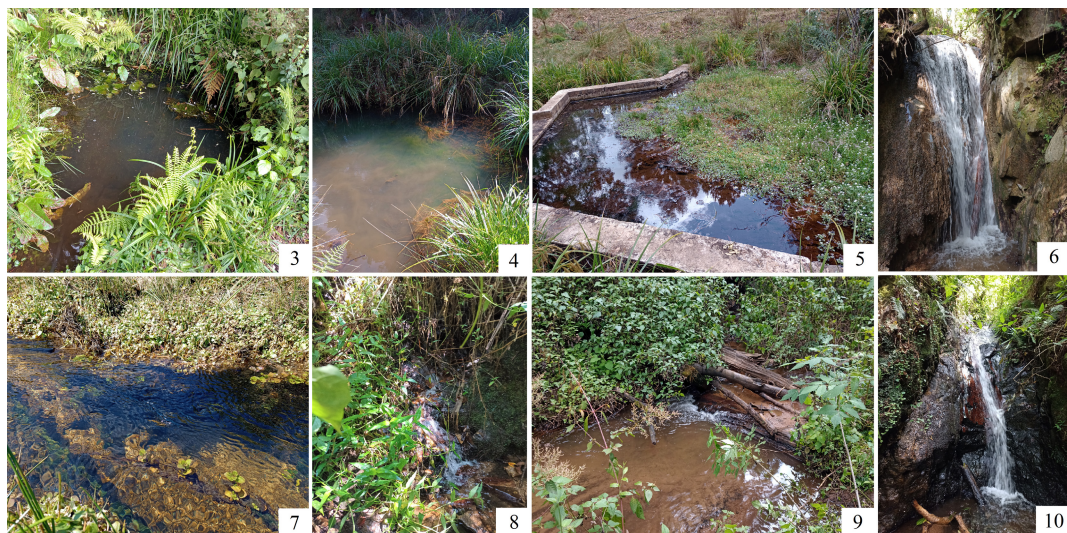


**Figuras 1-2.** Localización de microcuencas. 1. San Cristóbal, Oaxaca, México. 2. La Venta, Oaxaca, México. / 1. Location of the San Cristóbal micro-watershed, Oaxaca, Mexico. / 2. Location of the La Venta micro-watershed, Oaxaca, Mexico.

**Selección y muestreo de manantiales.** Los manantiales seleccionados fueron ocho, cuatro de tipo helocreno (La Ciénega, Cieneguilla, Llano Grande y La Nevería) y cuatro reocreno (Arroyo Guajolote, Las Golondrinas, Arroyo Gretado y Santo Domingo) (Figs. 3-10). El tipo de muestreo fue selectivo, y los manantiales se eligieron de acuerdo con el criterio del grado de conservación del ecosistema terrestre en el que se sitúan. En cada manantial se midió pH, conductividad eléctrica, temperatura del agua y del ambiente; y se determinó el flujo del caudal. La medición de las variables se realizó durante el mes de mayo de 2022, en época de estiaje ya que Barbour *et al.* (1999) mencionan que en este periodo es cuando las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos son más estables.

**Caracterización del entorno.** De acuerdo con la clasificación de Steiman (Barquín-Ortiz 2007) se determinó el tipo de manantial (limnocreno, reocreno, helocreno) y se realizó una descripción de su entorno mediante una ficha descriptiva para inventario de manantiales.

**Recolecta de macroinvertebrados acuáticos.** Se tomaron cuatro muestras por sitio siguiendo la metodología propuesta por Stevens *et al.* (2018), con el uso de una red tipo D y abarcando todos los hábitats posibles, para lo cual se removieron piedras, hojarasca, troncos, sedimento, etc., con la finalidad de recolectar la mayor cantidad de macroinvertebrados. Las muestras obtenidas se colocaron en bolsas herméticas de plástico con alcohol etílico 70%, anotando nombre del sitio y la fecha de recolecta. En el laboratorio de posgrado del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO), con el uso del estereomicroscopio se separaron los individuos y se preservaron en frascos de plástico con alcohol, anotando los mismos datos que contiene la bolsa; posteriormente se realizó la identificación taxonómica a nivel de familia siguiendo las claves de Merrit *et al.* (2008), además de catálogos ilustrados de Oscoz-Escudero (2009), Gutiérrez-Fonseca *et al.* (2016), Pérez *et al.* (2016) y Andino-Guarderas *et al.* (2017). Al mismo tiempo se cuantificaron los organismos y se preservaron en frascos plásticos con alcohol 70%, debidamente etiquetados.



**Figuras 3-10.** Manantiales en estudio. 3. La Ciénega. 4. Cieneguilla. 5. Llano Grande. 6. Santo Domingo. 7. La Nevería. 8. Arroyo Guajolote. 9. Las Golondrinas. 10. Arroyo Gretado. / **3-10.** Study springs. 3. La Ciénega. 4. Cieneguilla. 5. Llano Grande. 6. Santo Domingo. 7. La Nevería. 8. Arroyo Guajolote. 9. Las Golondrinas. 10. Arroyo Gretado.

**Análisis de datos.** Se determinó la diversidad beta ( $\beta$ ), ya que esta establece el grado de diferenciación entre comunidades en relación a gradientes ambientales complejos (Calderón-Patrón y Moreno 2019). Se calcularon los índices de diversidad de Shannon y Wiener ( $H'$ ), diversidad de Simpson ( $\lambda$ ), similitud de Jaccard ( $I_j$ ), equitatividad de Pielou ( $J'$ ), así como riqueza ( $S$ ) y dominancia ( $D$ ). Basándose en estos resultados, se realizaron análisis Clúster de acuerdo a la abundancia de familias identificadas, utilizando el índice y el porcentaje de similitud de Jaccard, esto para indicar que sitios comparten familias similares, y cuáles comparten similitud de abundancia de familias utilizando el paquete estadístico MVSP v. 3.21® (Kovach Computing Services 2013). Para determinar la correlación existente entre las variables antes mencionadas se utilizó la Rho ( $\rho$ ) de Spearman ( $\rho \leq 0,05$ ) mediante el paquete JMP Pro 14® (SAS Institute 2008).

## Resultados y Discusión

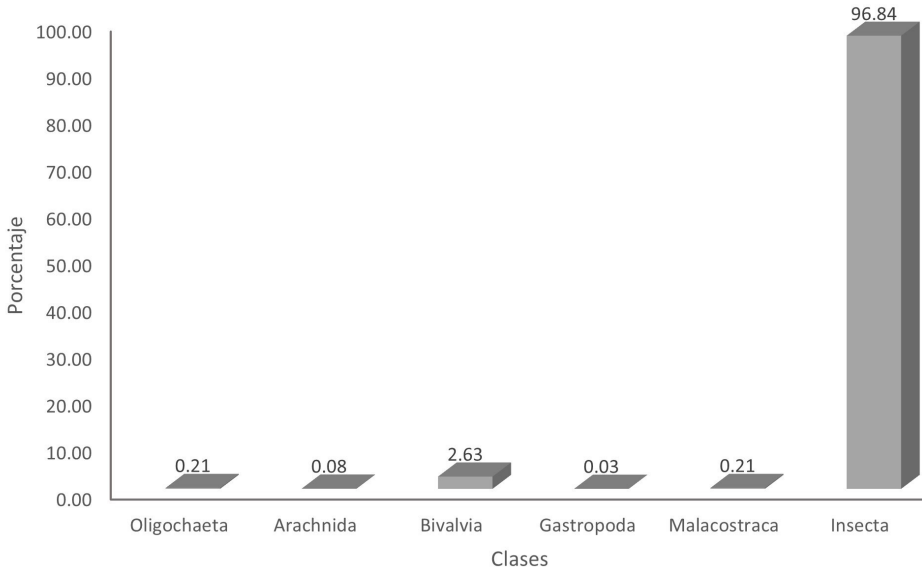
Se recolectaron 6.232 ejemplares distribuidos en seis clases, 14 órdenes y 46 familias (Tab. 1). Las clases identificadas fueron Oligochaeta, 13 individuos; Arachnida, cinco ejemplares; Bivalvia, 164 ejemplares; Gastropoda, dos individuos; Malacostraca, 13 ejemplares y la clase Insecta, 6.035 individuos (Fig. 11).

**Tabla 1.** Familias taxonómicas identificadas en cada manantial en estudio. / Taxonomic families identified in each study spring.

Familia	LC	C	LIG	SD (c)	SD (a)	LN	AG	LG	AG	Total de ejemplares	Abundancia relativa
Naididae	1	0	3	0	0	0	0	0	9	13	0,00209
Hydrachnidia	1	0	0	1	2	1	0	0	0	5	0,00080
Unionidae	33	15	27	5	0	29	0	3	0	112	0,01797
Sphaeriidae	33	0	19	0	0	0	0	0	0	52	0,00834
Planorbidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0,00016
Bithyniidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0,00016

Hyaellidae	0	0	13	0	0	0	0	0	0	13	0,00209
Leptohyphidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0,00016
Leptophlebiidae	0	0	2	151	25	103	46	98	6	431	0,06916
Baetidae	0	0	1	0	0	1	1	0	5	8	0,00128
Cordulegastridae	0	1	2	0	0	0	8	0	1	12	0,00193
Libellulidae	5	0	1	0	0	0	0	0	0	6	0,00096
Aeshnidae	0	0	0	1	0	0	1	1	2	5	0,00080
Beraeidae	0	0	0	0	0	3	0	0	1	4	0,00064
Rhyacophilidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,00016
Lymnephilidae	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0,00064
Polycentropodidae	4	14	66	8	19	5	2	7	10	135	0,02166
Glossosomatidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0,00016
Hydropsychidae	0	0	2	4	5	1	4	1	30	47	0,00754
Leptoceridae	0	0	5	0	0	0	13	0	12	30	0,00481
Hydroptilidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,00016
Lepidostomatidae	0	0	0	11	4	0	0	0	143	158	0,02535
Dytiscidae	4	0	6	0	0	0	0	0	0	10	0,00160
Hydrophilidae	1	0	0	0	0	0	21	1	0	23	0,00369
Elmidae	0	0	0	41	27	1	12	14	10	105	0,01685
Staphylinidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,00016
Curculionidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0,00016
Veliidae	0	0	0	0	0	0	4	2	1	7	0,00112
Gerridae	14	0	17	0	0	0	1	0	27	59	0,00947
Notonectidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,00016
Saldidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0,00016
Culicidae	182	0	1	0	0	0	0	0	0	183	0,02936
Simuliidae	0	0	2	93	798	10	55	1	1	960	0,15404
Chironomidae	92	12	40	3	52	34	9	1	8	251	0,04028
Tanytarsini	326	129	999	54	50	195	135	99	274	2261	0,36280
Tanypodini	349	129	302	5	51	128	76	11	21	1072	0,17202
Ceratopogonidae	0	4	2	12	14	1	9	3	21	66	0,01059
Tipulidae	0	0	10	3	7	0	7	0	3	30	0,00481
Dolichopodidae	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0,00048
Athericidae	0	0	2	9	27	6	1	1	11	57	0,00915
Dixidae	0	0	1	4	1	1	13	0	10	30	0,00481
Empididae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0,00016
Blephariceridae	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0,00112
Taeniopterygidae	0	0	1	12	0	20	0	0	0	33	0,00530
Perlidae	0	0	0	12	0	6	6	0	0	24	0,00385
Crambidae	0	0	2	0	1	1	0	1	0	5	0,00080

LC = La Ciénega, C = Cieneguilla, LIG = Llano Grande, SD (c) = Santo Domingo (cascada), SD (a) = Santo Domingo (arroyo), LN = La Nevería, AG = Arroyo Guajolote, LG = Las Golondrinas, AG = Arroyo Gretado.



**Figura 11.** Clases taxonómicas de macroinvertebrados acuáticos encontrados en los manantiales estudiados. / Taxonomic classes of aquatic macroinvertebrates found in the study springs.

Los órdenes de la clase Insecta identificados en los sitios de muestreo fueron Diptera (4.954 ejemplares), Ephemeroptera (440 ejemplares), Trichoptera (381 ejemplares), Coleoptera (140 ejemplares), Hemiptera (68 ejemplares), Plecoptera (29 ejemplares), y Odonata (23 ejemplares).

Dentro de este orden las tribus pertenecientes a la familia Chironomidae, Tanytarsini (2.261 ejemplares) y Tanytopodini (1.072 ejemplares), seguidos de la familia Simuliidae (960 ejemplares) y la familia Leptophlebiidae (431 ejemplares) fueron las más representativas.

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de acuerdo a los índices ecológicos calculados. El índice de diversidad de Shannon y Wiener mostró una mayor diversidad en el sitio Arroyo Guajolote, mientras que el sitio con menor diversidad fue Llano Grande ( $\mu$  2,439;  $\sigma$  0,576). En este último sitio se encontró el valor máximo de riqueza de familias, seguido de Arroyo Guajolote, mientras que el sitio Cieneguilla obtuvo el valor mínimo ( $\mu$  19,111;  $\sigma$  5,689). En general, se obtuvo una diversidad baja en los manantiales, esto puede deberse a que sus ecosistemas se encuentran en cierta medida impactados, por ejemplo, el manantial del sitio Cieneguilla se encuentra delimitado por una pileta de captación, y el de Llano Grande está canalizado para su aprovechamiento, esto afecta el nacimiento del manantial, al cual se le considera el hábitat más importante de su ecosistema (Stevens *et al.* 2018). Caso contrario sucede en el manantial de Arroyo Guajolote, el cual se caracteriza por presentar vasta vegetación en su nacimiento. Este sitio fue el que presentó una mayor diversidad, seguido de La Cascada de Santo Domingo, ya que entre más heterogéneo y complejo sea un ambiente, este brinda mayores hábitats y es asociado con altos valores de diversidad; una baja diversidad en los ecosistemas tiene graves repercusiones, como la disminución a la resistencia y a la resiliencia ante perturbaciones, la simplificación del sistema y la pérdida de integridad ecológica (Vinson y Hawkins 1998). Lo anterior coincide con el estudio realizado por Meza *et al.* (2012) donde reportan mayor riqueza y abundancia de macroinvertebrados en zonas con vegetación ribereña conservada a comparación de sitios donde esta vegetación se encuentra degradada o está ausente, es

decir, en sitios donde la vegetación es abundante las comunidades de macroinvertebrados será más diversa. Bravo-Chaves y Restrepo-Franco (2021) aseguran que en ambientes con la menor intervención humana y con mayor diversidad de microhábitats brindados posibilita el establecimiento de mayor cantidad de taxones.

**Tabla 2.** Índices ecológicos a nivel familia estimados para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos encontrados en manantiales de las microcuencas San Cristóbal y La Venta. / Ecological indexes at the family level estimated for the aquatic macroinvertebrate community found in springs of the San Cristóbal and La Venta microbasins.

Sitio	H'	J'	S	D	$\lambda$
La Ciénega	2,326	0,629	13	64,593	0,249
Cieneguilla	1,814	0,572	9	84,314	0,362
Llano Grande	1,786	0,376	27	85,088	0,469
Arroyo Guajolote	3,382	0,728	25	48,956	0,164
Las Golondrinas	2,141	0,524	17	80,408	0,330
Arroyo Gretado	2,751	0,617	22	68,026	0,263
Santo Domingo (cascada)	3,116	0,699	22	56,481	0,197
Santo Domingo (arroyo)	1,956	0,469	18	78,341	0,550
La Nevería	2,676	0,630	19	59,158	0,227
Max	3,382	0,728	27,000	85,088	0,550
Min	1,786	0,376	9,000	48,956	0,164
Media	2,439	0,583	19,111	69,485	0,312
DESVET	0,576	0,111	5,689	13,155	0,129
% CV	23,614	19,131	29,766	18,932	41,242

H' = índice de diversidad de Shannon-Wiener, J' = índice de equidad de Pielou, S = índice de riqueza de familias, D = índice de dominancia,  $\lambda$  = diversidad de Simpson. Max = valor máximo, Min = valor mínimo, DESVET = desviación estándar, % CV = porcentaje de coeficiente de variación.

El valor máximo en cuanto al índice de dominancia fue de 85,088 en el sitio Llano Grande, mientras que Arroyo Guajolote mostró un valor mínimo de 48,956 ( $\mu$  0,312;  $\sigma$  0,129). En la mayoría de los sitios las tribus Tanytarsini y Tanypodini (Diptera: Chironomidae) presentaron mayor abundancia, a excepción del sitio Santo Domingo parajes La Cascada y El Arroyo, donde las familias más abundantes fueron Leptophlebiidae y Simuliidae, respectivamente.

De acuerdo al índice de equidad de Pielou, el sitio Arroyo Guajolote mostró un valor máximo de 0,728, mientras que el sitio Llano Grande obtuvo un valor mínimo de 0,376 ( $\mu$  0,583;  $\sigma$  0,111). En cuanto al índice de diversidad de Simpson el sitio con mayor diversidad fue Arroyo Guajolote, y el de menor diversidad fue El Arroyo de Santo Domingo ( $\mu$  0,312;  $\sigma$  0,129).

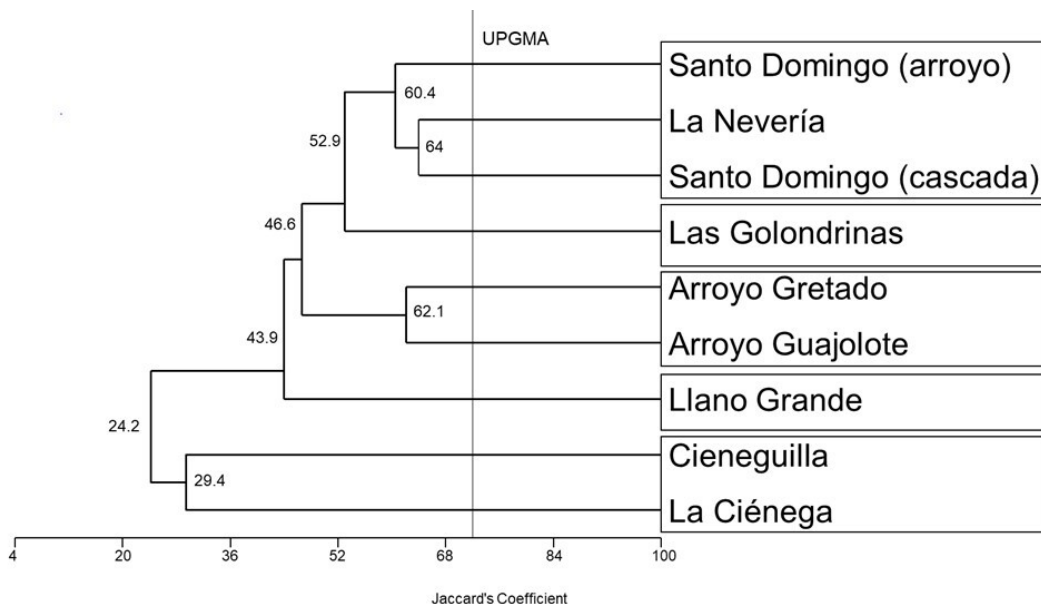
El índice de Spearman ( $\rho < 0,05$ ) muestra una correlación positiva entre equitatividad de Pielou y diversidad del 90%, es decir, cuando la equitatividad aumenta la diversidad también aumenta, mientras que la correlación de dominancia con diversidad al igual que con equitatividad de Pielou presentaron una correlación negativa de 93%, esto significa que, al aumentar la dominancia, la diversidad y la equitatividad disminuyeron (Tab. 3).

**Tabla 3.** Índice de correlación de Spearman entre los índices ecológicos de la comunidad de macroinvertebrados. / Spearman correlation index between ecological indices of the macroinvertebrate community.

Variable	por variable	$\rho$ de Spearman	Prob >   $\rho$
J'	H'	0,9	0,0009
D	H'	-0,9333	0,0002
D	J'	-0,9333	0,0002

J' = índice de equidad de Pielou, D = índice de dominancia, H' = índice de diversidad de Shannon y Weinner. Spearman  $\rho < 0,05$ .

El análisis clúster a partir del uso de coeficiente de similitud de Jaccard, muestra que los sitios se agruparon en cinco grupos (Fig. 12). En general la similitud es baja, ya que los sitios que más familias comparten son La Nevería y La Cascada de Santo Domingo con el 64%, se esperaba un mayor grado de similitud ya que los sitios se encuentran más o menos cercanos y con características del medio similares (Tab. 4).



**Figura 12.** Análisis de agrupamiento de familias taxonómicas recolectadas en los manantiales de acuerdo al coeficiente de similitud de Jaccard. / Clustering analysis of taxonomic families collected in the springs according to Jaccard's similarity coefficient.

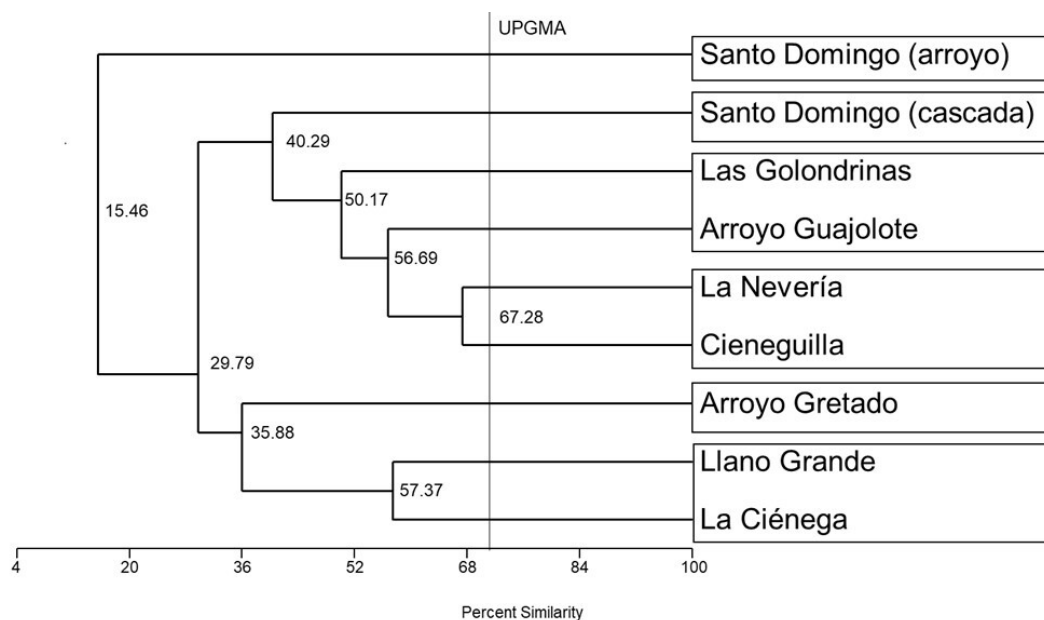
**Tabla 4.** Características de los manantiales de estudio. / Characteristics of the study springs.

Sitio	Tipo de manantial	Temperatura ambiental. (°C)	Temperatura del agua (°C)	pH	CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	Flujo del caudal ( $\text{l s}^{-1}$ )	Tipo de vegetación
La Ciénega	Helocreno	19	14	6	40	146,12	Reforestación de pino
Cieneguilla	Helocreno	17	15	6	50	33,66	Bosque de regeneración de pino-encino



Llano Grande	Helocreno	16	14	7	10	355,2	Relicto de pino-encino
Santo Domingo	Reocreno	10	9	8	330	832,65	Bosque de pino y vegetación de galería
La Nevería	Helocreno	16	12	8	70	1820,52	Revegetación de <i>Pinus rudis</i> Endl.
Arroyo Guajolote	Reocreno	19	15	7	30	117,6	Vegetación de transición encino-pino a selva mediana
Las Golondrinas	Reocreno	15.5	12	7	50	788,7375	Vegetación de encino-pino y de ribera
Arroyo Gretado	Reocreno	16	13	7	100	487,2	Vegetación de encino-pino

A pesar de las relaciones entre los sitios, de acuerdo al porcentaje de similitud de abundancia de Jaccard, La Nevería y La Cascada de Santo Domingo comparten el 40,29% de la abundancia de familias encontradas, mientras que La Nevería y La Cieneguilla presentaron el 67,28% de similitud. Por otro lado, El Arroyo de Santo Domingo con las mismas características que el manantial sólo comparte el 15,46% de abundancia en relación con el resto de los sitios (Fig. 13).



**Figura 13.** Análisis de agrupamiento de acuerdo al porcentaje de abundancia de familias taxonómicas en los manantiales de acuerdo al coeficiente de similitud de abundancia de Jaccard. / Clustering analysis according to the percentage abundance of taxonomic families in the springs according to Jaccard's abundance similarity coefficient.

La similitud de familias en los sitios es baja si se considera que los grupos de macroinvertebrados acuáticos, principalmente los insectos, tienen distribuciones muy amplias, por lo que se esperan similitudes mayores al 70% (Osejos-Merino *et al.* 2020).

Sin embargo, los manantiales son entidades ecosistémicas que conservan unicidad en tanto a sus condiciones ambientales y en consecuencia mantienen composiciones biológicas también únicas (Pérez-Munguía *et al.* 2004); además que en los sitios de muestreo los climas predominantes son semifrío subhúmedo (C(E)(w2)(w)) y templado subhúmedo (C(w2)(w)), comúnmente, las zonas con estas características son inestables y vulnerables (Mosquera-Guerra 2015).

## Conclusiones

Los ecosistemas de manantial presentan características ecológicas que los hacen únicos, estos son influenciados por componentes bióticos y abióticos, así como por la acción antropogénica. La presente investigación es la primera que se lleva a cabo en manantiales de la subcuenca río Copalita, dando a conocer la estructura de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos que habitan en los manantiales ubicados en las microcuencas San Cristóbal y La Venta. Los manantiales ubicados en los parajes Santo Domingo, Arroyo Guajolote y Arroyo Gretado son los únicos que no son aprovechados con fines de abastecimiento para uso humano y uso agrícola, destacando el ubicado en Arroyo Guajolote, es el que está mejor conservado, ya que presenta una vegetación considerable, tanto en su nacimiento como en su ribera y fue el sitio con mayor valor en cuanto al índice de diversidad.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONAHCYT). Al World Wildlife Fund (Fondo Mundial para la Naturaleza-WWF México). A la Red Nacional para el Monitoreo de Reservas de Agua en México (REDMORA). A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Al Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). A las comunidades de San José Cieneguilla, Santo Domingo Ozolotepec y San Miguel Suchixtepec por el apoyo y las facilidades brindadas para la realización del estudio.

## Literatura Citada

- Andino-Guarderas, P., Espinosa, R.E., Guevara, E.A. y Santander, T. (2017)** *Cartilla de identificación de macroinvertebrados acuáticos*. Ministerio del Ambiente. Aves y Conservación. Quito, Ecuador. 43 pp.
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyder, B.D. y Stribling, J.B. (1999)** *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*. Environmental Protection Agency. Washington, D.C. 337 pp.
- Barranco-Salazar, A.R. (2018)** El agua subterránea y su importancia socioambiental. *Universitarios potosinos*, 227: 16-21.
- Barquín-Ortiz, J. (2007)** Patrones de biodiversidad en manantiales: implicaciones para la gestión de las aguas subterráneas. *Locustella: Anuario de la Naturaleza de Cantabria*, 4: 37-49.
- Bezaury-Creel, J.E., Ochoa-Pineda, F., Llano-Blanco, M.O., Lasch-Thaler, C., Herron, C., Vásquez-Castañeda, D., Hernández-Yañez, A. y Hernández-Ruiz, F. (2017)** *Agua dulce, conservación de la biodiversidad, protección de los servicios ambientales y restauración ecológica en México*. The Nature Conservancy. 72 pp.

- Bravo-Chaves, L.R. y Restrepo-Franco, G.M. (2021)** Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en dos ecosistemas lóticos en El Doncello, Caquetá. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 74(1): 57-71. <https://doi.org/10.18359/rfcb.5432>
- Calderón-Patrón, J.M. y Moreno, C.E. (2019)** Diversidad beta como disimilitud: su partición en componentes de recambio y diferencias en riqueza. Pp. 203-222. *En: Moreno, C.E. (Ed.), La biodiversidad en un mundo cambiante: fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio.* Ciudad de México, México. 379 pp.
- Gualdoni, C.M. y Oberto, A.M. (2012)** Estructura de la comunidad de macroinvertebrados del arroyo Achiras (Córdoba, Argentina): análisis previo a la construcción de una presa. *Iheringia, série Zoologia*, 102 (2): 177-186.
- Gutiérrez-Fonseca, P.E., Alonso-Rodríguez, A.M. y Ramírez, A. (2016)** *Macroinvertebrados acuáticos de Puerto Rico como bioindicadores de calidad ambiental.* Puerto Rico. 6 pp.
- Habit, E., Górski, K., Aló, D., Ascencio, E., Astorga, A., Colin, N., Contador, T., De los Ríos, P., Delgado, V., Dorador, C., Fierro, P., García, K., Parra, Ó., Quezada-Romegialli, C., Ried, B., Rivera, P., Soto-Azat, C., Valdovinos, C., Vera-Escalona, I. y Woelfl, S. (2019)** *Biodiversidad de ecosistemas de agua dulce.* Comité científico COP25. Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Chile. 62 pp.
- Hanson, P., Springer, M. y Ramírez, A. (2010)** Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical*, 58(4): 3-37.
- INEGI-SIATL [Instituto Nacional de Estadística y Geografía] (2022)** Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas Consultado: 20 de octubre de 2022. Disponible en: [https://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/siatl/](https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/)
- Kovach Computing Services (2013)** Multivariate Statistical Package (MVSP) v. 3.22.
- Ladrera-Fernández, R. (2012)** Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de Información Ambiental*, 39: 24-29.
- Ladrera, R., Rieradevall, M. y Prat, N. (2013)** Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Ikastorratza e-Revista de Didáctica*, 11: 1-18.
- Merritt, R.W., Cummins, K.W. y Berg, M.B. (2008)** *An introduction to the aquatic insects of North America.* 4<sup>th</sup> ed. Kendall/Hunt Publishing Company. United States of America. 1158 pp.
- Meza, A.M., Rubio, J., Gomes, L. y Walteros, J.M. (2012)** Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del Río Chinchiná. *Caldasía*, 34(2): 443-456.
- Mosquera-Guerra, F. (2015)** Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados en la cuenca alta del río Caquetá. *Momentos de Ciencia*, 12(1): 25-38.
- O'Keeffe, J. y Le-Quesne, T. (2010)** *Cómo conservar los ríos vivos. Guía sobre los caudales ecológicos.* Serie Seguridad Hídrica de WWF-2. WWF- World Wide Fund. Gland, Suiza. 47 pp.
- Oscoz-Escudero, J. (2009)** *Guía de campo macroinvertebrados de la Cuenca del Ebro.* Confederación Hidrográfica del Ebro. España. 129 pp.
- Osejos-Merino, M.A., Merino-Conforme, M.C., Merino-Conforme, M.V. y Solis-Barzola, J.L. (2020)** Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua de la parte céntrica del río Jipijapa-Ecuador. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 4(4): 454-467. <https://doi.org/10.26820/recimundo/4.4.octubre.2020.454-467>
- Pérez, A., Salazar, N., Aguirre, F., Font, M., Zamora, E., Córdova, A. y Acosta, K. (2016)** *Guía de macroinvertebrados bentónicos de la provincia de Orellana.* Orellana, Ecuador. 116 pp.
- Pérez-Munguía, R.M., Pineda-López, R.F. y Campos-Cervantes, V. (2004)** Estructura trófica de las asociaciones de macroinvertebrados acuáticos de manantiales cársticos en la Huasteca Mexicana. *Biológicas*, 6: 37-47.

- Roldán-Pérez, G. (2016)** Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155): 254-274. <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- SAS Institute (2008)** JMP v. 8. Statistical. Discovery from SAS.
- Stevens, L.E., Springer, A.E. y Ledbetter, J.D. (2018)** *Springs ecosystem inventory protocols*. Springs Stewardship Institute. Traducción al español por Murrieta, B. Flagstaff, Arizona. 60 pp. Consultado: 10 de abril de 2022. Disponible en: <https://docs.springstewardship.org/PDF/SpanishProtocols112818.pdf>
- Vinson, M.R. y Hawkins, C.P. (1998)** Biodiversity of stream insects: variation at local, basin and regional scales. *Annual Review of Entomology*, 43: 271-293.