EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RIO TAJO MEDIANTE LA APLICACION DE METODOS BIOLOGICOS

J. Avilés García y M. Toro Velasco

Centro de Estudios Hidrográficos, Pso. Bajo Virgen del Puerto s/n. 28005 Madrid, España.

Palabras clave: cuenca río Tajo, calidad del agua, índices bióticos.

ABSTRACT

The employment of biological methods for the assessment of river Tajo basin water quality has provided results which integrate the effects of pollutants throughout time. These methods based on aquatic macroinvertebrates study have offered a knowledge of water pollution levels in the different subbasins. Nevertheless, the modified B.M.W.P.' biological index (Alba-Tercedor, Sánchez-Ortega, 1988) is that reflects better the real water conditions in basin. A Water Quality Map of the Tajo Basin based in this index is given.

INTRODUCCION

Durante los últimos años, el proceso degenerativo de los sistemas acuáticos continentales, a causa de los vertidos contaminantes e insuficientes medios de depuración de sus aguas, ha motivado la preocupación por parte de algunos organismos oficiales en este campo, llevándose a cabo tareas de control y seguimiento de la calidad de las aguas en las redes fluviales.

A petición de la Confederación Hidrográfica del Tajo, el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (MOPT) realizó durante los años 1988-89 un reconocimiento limnológico de los principales ríos de la cuenca del Tajo mediante la aplicación de indicadores biológicos.

De un total de 29 ríos de la cuenca, se seleccionaron 108 estaciones de muestreo repartidas en las zonas de cabecera, medias y bajas de cada río. Su elección fue determinada por las condiciones físico-químicas de las aguas, desembocaduras de afluentes, vertidos, y la accesibilidad a los mismos, coincidiendo en gran parte con los puntos de la Red Básica de Vigilancia del MOPT.

AREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Tajo abarca una superficie de 55.768 km², obteniendo sus mayores caudales hídricos de su vertiente norte, donde se encuentran los principales afluentes. Ocupa el primer lugar entre las cuencas españolas en cuanto al número de embalses construidos, con un total de 201 y una capacidad de 11.110 Hm³ (MOPT, 1986), estando pues altamente regulados los caudales.

En la Tabla 1 se enumeran los diferentes ríos de la cuenca seleccionados para el estudio.

1. Alagón	11. Dulce	21. Manzanares
2. Alberche	12. Escabas	22. Salado
3. Algodor	13. Gallo	23. Salor
4. Almonte	14. Guadamejud	24. Sorbe
5. Arrago	15. Guadarrama	25. Tajo
6. Aulencia	16. Guadiela	26. Tajuña
7. Bornoba	17. Henares	27. Tietar
8. Cabrillas	18. Jarama	28. Trabaque
9. Cañamares	19. Jerte	29. Torote
10. Cuerpo de Hombre	20. Ladrillar	

Tabla 1. Ríos seleccionados para el estudio.

MATERIAL Y METODOS

En la mayor parte de los puntos se realizó un muestreo por estación del año, en las zonas lólicas de cada punto, tomándose muestras biológicas de macroinvertebrados bentónicos (tamaño > 1mm) mediante el uso de redes acuáticas de mano, y analizándose "in situ" los siguientes parámetros físico-químicos: 1) temperatura, pH y conductividad (medidores digitales), 2) oxígeno disuelto (método Winkler), 3) nitrógeno (NO_2 , NO_3 , NH_4) (espectrofotómetro de campo), y 4) fósforo total (autoanalizador x colorimetría en laboratorio).

Los índices biológicos empleados con las muestras de campo obtenidas fueron los siguientes: I) Índice saprobico: basándose en el Sistema de Kolkwitz y Marsson (1908, 1909) y cuantificando con el Índice de Knöpp (1955) y el Índice de Pantle y Buck (1955), se aplicó el sistema de los saprobios a la cuenca del Tajo como complemento de los índices bióticos, aunque las listas de especies utilizadas y sus clases no se ajustan exactamente a las encontradas en la Península Ibérica ni a sus exigencias ambientales tan variables geográficamente.

II) Índices bióticos: 1) Verneaux-Tuffery (1967), 2) Extended Trent Biotic Index (Woodiwiss, 1978), 3) Biological Monitoring Working Party (BMWP) (Hellawell, 1978), y 4) BMWP modificado (Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega, 1988).

Como resultado de esta aplicación se elaboraron unos Mapas de Calidad del Agua en la cuenca para cada índice, diferenciándose cinco clases de calidad según el grado de contaminación en cada tramo estudiado.

RESULTADOS

A continuación, en la Tabla 2, se presentan los valores obtenidos en la aplicación de los índices biológicos para cada punto de muestreo de las subcuencas.

	LS.	Alba	BM	Vern	Wood		LS.	Alba	BM	Vern	Wood
<u>RIO TAJO</u>											
Nacimiento	—	70	83	9	8	Alboreca	—	73.6	65	9.3	9
Peralejos	1.26	101	88.6	9.6	10.3	Alcuneza	1.47	56.3	56.3	8.5	8.5
Zaorejas	—	77.3	74	8.6	8.3	Bujalaro	1.54	51.8	55	7.6	7.8
Ocentejo	1.46	81	72	8	8	Espinosa	—	80	83	9	9
Trillo	1.55	53	51	7	7	Humanes	1.58	58.2	60.5	7.5	7.5
Estremera	1.52	26	28.3	5.3	6.3	Fontanar	1.63	82	70	9	9
Fuentidueñas	1.52	48	46	7	7	Sant.Humosa	2.25	19.6	17	4.6	4
Colm. Oreja	1.45	38	32	7	7	El Bonillo	—	16	12	5	3
Añover Tajo	2.40	13	15	4	5	Torrejón	—	3	3	2	2
Toledo	2.25	16.5	15.5	4.5	3.5	<u>RIO CAÑAMARES</u>					
Ctra.Tal.Tol	2.53	9	9	4	2	Castilblanco	1.63	84	82	10	9
Pte.Arzbis.	—	18	16	5	6	<u>RIO DULCE</u>					
Alcántara	2.05	15	16	5	2	Torresaviñan	1.56	133	126	10	12
<u>RIO CABRILLAS</u>						Villaseca	—	48.2	47.5	6.5	7
Pinilla de M	1.27	109	107	10	11	<u>RIO BORNOBA</u>					
<u>RIO GALLO</u>						Hiendelaenc.	1.48	110	110	10	9
Orihuela Tr.	1.15	101	91.5	9.5	9.5	Membrillera	1.57	86	84	10	10
Prados Red.	1.41	78.6	79	8.6	8.6	<u>RIO SORBE</u>					
Ventosa	1.44	70.7	73.5	8.3	8.3	Muriel	1.30	73	66.6	8.8	8.4
<u>RIO JARAMA</u>						Humanes	1.68	70	64.5	8.5	8
Entr.El Vado	1.44	51	55.5	7	7.5	<u>RIO TOROTE</u>					
Valdep. Sie.	1.59	76.3	71	9	9	Ribatejada	1.92	60	51	9	9
Algete	—	17.3	18.6	4.6	5	Fresno Toro.	—	37.8	40	6.4	7.2
Paracuellos	2.03	16.5	16.5	4.5	5.5						
Mejor. Campo	—	7	5	3	2						
Puente Largo	3.6	2.2	2.2	1	1.2						

(continúa)

Tabla 2. Valores obtenidos para cada índice.

	I.S.	Alba	BM	Vern	Woo		I.S.	Alba	BM	Vern	Woo
RIO TAJUÑA						RIO CUERPO DE HOMBRE					
Luzón	1.51	75.4	72.4	8.8	8.4	Bejar	2.51	19.5	49	6.33	7.33
Hortezuela	1.55	93	83	9	9	Sotoserrano	--	49	49	6.3	7.3
Abanades	--	77	65	9	9	RIO JERTE					
Masegoso	1.60	60	57.8	7.8	8	Tornavacas	1.15	120	111	10	10.5
Armuña	1.58	80	64.5	9.5	9	Rebollar	--	45	51	6	7
Loranca	1.53	60	52	8	8	Casas Casta.	--	65.6	63.3	8	8
Orusco	1.62	37.6	35.8	7	7	Galisteo	1.78	36.5	34	6.5	7
Tielmes	--	36	36	7	7	RIO LADRILLAR					
Titulcia	1.56	49.2	48	6.6	7	Sotoserrano	1.46	111	111	10	9
RIO MANZANARES						RIO ARRAGO					
La Pedriza	1.46	92	85.6	9.3	9.3	Santibañez	--	87	83.5	9	8.5
Santillana	--	75	69	10	9	Huélaga	1.52	34	33	5.7	7
Colm. Viejo	1.54	55	55	7	7.5	RIO GUADIELA					
El Pardo	1.68	29	26.2	5.2	6	Beteta	1.57	78.2	79.2	8.5	8.7
Parq.Sindical	2.04	11.5	11.5	4	4.2	Alcantud	--	63.6	70	9	8
RIO GUADARRAMA						Priego	1.44	72.7	71.5	9	9
Cercedilla	1.57	89.3	85.6	9.3	9	Entr.Entrep.	1.65	78	70	9	8
Guadarrama	--	26	26	4	5	RIO ESCABAS					
Galapagar	--	22	22	5.3	4.6	Boca Infer.	1.55	105	94	9.5	9.5
Ctra.Rozas-E.	--	26	22	5	6	Priego	1.44	72.7	71.5	9	9
Villa.Pardil.	--	2	2	1	1	RIO TRABAOUE					
Boadilla Mon.	--	5	5	2	2	Priego	1.54	66.5	66.5	7.7	8.2
Villav. Odon	--	3	3	2	2	RIO GUADAMEJUD					
Navalcarnero	3.9	3	3	2	2	La Peraleja	1.57	44	33	5.7	7.2
El Alamo	--	3	3	2	2	RIO ALGODOR					
Bargas	1.91	17.5	17.5	3.2	4.2	Arr.Emb.Cast	--	24.5	22	3.5	4
RIO AULENCIA						Villamejor	1.53	24.5	22	3.5	4
Vill.Pardill.	--	48	55	6	7	RIO ALMONTE					
RIO ALBERCHE						Retamosa	1.43	165	152	10	12.5
Sta.Mª Pimpo.	1.48	119	114	10	11	Jaraicejo	--	79	72	8	8
Navaluenga	1.56	77	75.5	9	9.5	Venta Barca	--	65	53	8	8
Aldea Fresno	1.50	38	38.5	6	6.75	Monroy	1.48	68	59.6	8	8
Talavera	1.51	31	31	6.25	7	RIO SALOR					
RIO TIETAR						Ctra.Badajoz	1.62	40.3	40.3	6.3	7.6
Arenas San P	1.52	61.7	60.2	8.5	8.5	Aliseda	--	51	50	8	8
Candeleda	1.87	42	40	8	8	Membrio	1.62	64.6	68.3	8.6	8.3
Barquilla P.	--	36	37	7	7	RIO SALADO					
Talayuela	1.49	46.5	45	7	7.5	Riva Saelic.	1.47	146	121	10	12
La Bazagona	--	48.5	52.5	6.5	7	(I.S.:índice sapróbico; Alba:índice BMWP';					
RIO ALAGON						BM:índice BMWP; Vern:índice Verneaux;					
Arr.Sotoserr.	1.60	70.2	68.5	7.7	8	Woo:índice de Woodiwiss.)					
Carcaboso	--	31	30	5	6	Tabla 2.(cont.) Valores para cada índice.					
Alagón del C.	--	44	43	7	7						
Venta del Ob.	--	48.5	49	8	7.5						

DISCUSION

Además de la evaluación de la calidad del agua en la cuenca, uno de los principales objetivos del estudio fue el valorar la eficacia de los diferentes índices biológicos empleados con tal fin. Utilizando los valores de la Tabla 2 se aplicó un análisis de regresión, obteniéndose unos coeficientes de correlación elevados entre los índices (Tabla 3). Como era de esperar, la mayor correlación encontrada, con un coeficiente = 0.96, correspondía a los índices BMWP y BMWP' modificado (Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega, 1988), al ser este último una modificación del primero. Fueron igualmente altos los valores de correlación en los restantes índices, Verneaux

y Woodiwiss, entre ellos y con los dos primeros, con valores comprendidos entre 0.89 y 0.96, comprobándose así una eficacia similar en todos ellos.

	I.C.Gral.	Verneaux	Woodiwiss	BMWP	Alba(BMWP')
I.Cal.Gral.	1	0.75	0.75	0.66	0.68
Verneaux		1	0.92	0.95	0.93
Woodiwiss			1	0.91	0.89
BMWP				1	0.96
Alba (BMWP')					1

Tabla 3. Semimatriz de coeficientes de correlación entre los índices utilizados.

No obstante, es el índice de BMWP' el que resulta más adecuado tanto por su mayor facilidad de aplicación como por la amplitud taxonómica que ofrece, al incluir prácticamente la totalidad de los grupos taxonómicos encontrados en nuestras aguas peninsulares. Al mismo tiempo, al moverse en un rango de valores entre 0 y >100, permite matizar con más detalle las diferentes clases de calidad del agua con una escala de rango menor.

Igualmente se obtuvo la correlación lineal existente entre los índices biológicos y el índice de Calidad general (I.C.G.) (Mingo, 1983), basado en datos físico-químicos, en las 43 estaciones coincidentes de la Red Básica de Vigilancia del MOPT, mostrando unos valores comprendidos entre 0.66 y 0.75, inferiores a los obtenidos entre los primeros (Tabla 3). Esto apoya una vez más las ventajas del uso de los organismos acuáticos como integradores en el tiempo de las condiciones físico-químicas del medio acuático (G. de Jalón, G. del Tanago, 1986).

El Mapa de Calidad de la cuenca (Figura 1), refleja la influencia de cada uno de los afluentes en el propio río Tajo, contribuyendo unos a su empeoramiento y otros a su mejoría. Estos efectos se ven bien reflejados en el perfil longitudinal de la calidad biológica del río Tajo obtenido al aplicar el índice saprobico (Figura 2). Hasta la estación de Estremera los valores de los índices son relativamente altos y no existen síntomas notables de contaminación. Aguas abajo del embalse, hay una disminución de los valores de los índices, en este caso debida

FIG.2.- PERFIL LONGITUDINAL CALIDAD BIOLOGICA RIO TAJO

FIG. 1.- MAPA DE CALIDAD BIOLÓGICA DE LA CUENCA DEL TAJO

INDICE DE ALBA (BNWP')

I	100 - 120	AGUAS MUY LIMPIAS
II	101 - 120	AGUAS NO CONTAMINADAS O NO ALTERADAS DE SUO DESEMILE
III	01 - 100	CON EVIDENTES ALGUNOS EFECTOS DE CONTAMINACION
IV	00 - 90	AGUAS CONTAMINADAS
V	10 - 90	AGUAS MUY CONTAMINADAS
	< 10	AGUAS FUERTEMENTE CONTAMINADAS

principalmente a las oscilaciones de nivel producidas por los desembalses, ello unido a la ausencia de piedras en el lecho del río, lo que dificulta la vida de los macroinvertebrados provocando la desaparición de nuevas especies bentónicas. El principal foco de contaminación está situado en Añover del Tajo, donde el río ha recibido los vertidos de Aranjuez y la incorporación a su cauce del río Jarama, portando toda la carga contaminante del cinturón urbano e industrial de Madrid. A su paso por Toledo se incrementa la contaminación orgánica y bacteriológica. En estos puntos de muestreo se corresponden notablemente valores altos de saprobiedad con cifras bajas de índices bióticos. después de recibir al río Alberche y formar el embalse de Azután, se advierte una mejoría que se mantiene a través de los embalses de Valdecañas, Torrejón y Alcántara, en este caso actuando como filtros depuradores de sus aguas.

CONCLUSIONES

De los casi 3.500 km de cuenca estudiados, se observa que la tercera parte corresponden a aguas muy contaminadas o fuertemente contaminadas, existiendo un pequeño número de afluentes y puntos negros que contribuyen de manera terminante al empeoramiento de la calidad de las aguas. Las necesarias y posibles actuaciones sobre la cuenca deberían ir dirigidas a disminuir esos efectos negativos localizados perfectamente en la cuenca, aprovechándose el efecto depurador de ciertos afluentes y embalses.

Por su facilidad de manejo e inclusión de la totalidad del espectro faunístico de nuestras aguas, se recomienda la utilización del índice BMWP' para su aplicación a posteriores estudios de esta envergadura en otras cuencas, o seguimientos periódicos en esta misma del Tajo.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue encargado al Centro de estudios Hidrográficos a petición de la Confederación Hidrográfica del Tajo y financiado por la Dirección General de Obras Hidráulicas. Participaron en los muestreos M. Pérez Muñoz y F. García Mengibar (C.E.H.).

BIBLIOGRAFIA

- Alba-Tecedor, J.; A. Sánchez-Ortega. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). Limnética, 4: 51-56.
- García de Jalón, D.; M. González del Tanago. (1986). Métodos biológicos par. el estudio de la calidad de las aguas. Aplicación a la cuenca del Duero. ICONA. Monogra. 45: 244 pp.
- Hellawell, J. (1978). Biological surveillance of rivers. Wat.Res.Cent.Publ. Stevenage. Inglaterra.
- Knöpp, H. (1955). Grundsatzliches zur Frage biologischer Vorflusseruntersuchungen erlautert an einem Gutelangsschnitt des Mains. Arch. Hydrobiol. Suppl., 22: 363-368.
- Kolkwitz, R.; M. Marsson. (1908). Oekologie der pflanzlichen Saprobien. Ber. Dtsch. Bot. Ges., 26a: 505-519.
- Kolkwitz, R.; M. Marsson. (1909). Oekologie der tierischen Saprobien. Int. Rev. Hydrob. u. Hydrog., 2: 126-152.
- Mingo, J. (1983). La vigilancia de la contaminación fluvial. MOPT. Direcc. Gral. Obr. Hidrául. MOPT (Direcc. Gral. Obr. Hidrául.). (1986). Inventario de presas españolas 1986.
- Pantle, R.; H. Buck. (1955) Die Biologische Überwachung der Gerwasser und die Darstellung der Ergebnisse. Gas-u. Wasserfach, 96: 604.
- Pesson, P. (1979). La contaminación de las aguas continentales. Ed. Mundi-Prensa.
- Verneaux, J.; G. Tuffery. (1967). Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices biotiques. Ann.Sci.Univ. Besançon Zool., 3: 79-89.
- Woodiwiss, F.S. (1978). The Trent Biotic Index. Macroinvertebrates in biological surveillance. Elaboration of the scientific bases for monitoring the hidrobiological indicators. Ist. Anglo-Soviet Seminar.

LA MACROFAUNA BENTONICA DE LOS AXALAPAZCOS MEXICANOS

J. Alcocer*, A. Lugo*, S. Estrada*, M. Ubeda* y E. Escobar**

*Proyecto CyMA, UIICSE, ENEP Iztacala, UNAM, Av. de los Barrios s/n, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla 05490, Edo. de Mexico.**Laboratorio de Ecología del Bentos, ICMYL, UNAM, Apdo. Postal 70-405, Ciudad Universitaria 04510, Mexico D.F.

Palabras clave: Macroinvertebrados bentónicos, lagos salinos, lagos-cráter, Puebla, México.

ABSTRACT

Advances in the comparative study of the macrobenthic communities of six crater-lakes ("axalapazcos") in Mexico are presented. The lakes are of different physical and chemical characteristics. Sampled taxa were nematodes, oligochaetes, hirudinea, amphipods, decapods, gastropods and aquatic insects such as ephemeroptera, odonata, hemiptera, trichoptera, coleoptera and diptera. Tubificidae, Chironomidae, Amphipoda and Hirudinea were the dominant components. PCA analysis showed salinity and aquatic vegetation to be the most important environmental parameters for the ordination of sampling stations. An other PCA carried out using biological data grouped most of the stations. Rare species, characteristic of one or two axalapazcos, caused few stations to be separated from the main group. In spite of their environmental differences, the axalapazcos were biologically similar.

INTRODUCCION

La cuenca de Oriental, localizada en el área central de México, comprende partes de los estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala, y tiene un área de 5 250 km² con una altitud promedio de 2300 m.s.n.m.. En ella se ubica la planicie conocida como la región de Los Llanos, al este del estado de Puebla, y en ésta se localizan seis lagos-cráter o axalapazcos (vocablo nahuatl que significa "vasijas de arena llenas de agua") (Reyes, 1979). La mayoría son relativamente profundos (más de 40 m de profundidad) y son alimentados principalmente por las aguas del manto freático, y en menor medida, por la precipitación pluvial directa (Alvarez, 1950). Cuatro de ellos: Alchichica, Atexcac, Quechulac y La Preciosa están ubicados en los Llanos de San Juan, una meseta lacustre al norte de la planicie poblana, mientras que Aljojuca y Tecuitlapa se encuentran en los Llanos de San Andrés, localizados al pie de los contrafuertes occidentales del Pico de Orizaba, (Ramírez-García y Novelo, 1984).

El clima en los Llanos de San Juan es templado seco, con verano seco y poca oscilación térmica, en tanto que en los Llanos de San Andrés el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano de acuerdo con García (1988).

A continuación se presentan algunos datos morfométricos importantes de los lagos (Arredondo-Figueroa et al., 1983), en forma de un cuadro sinóptico:

Lago	Long. Máx. m	Prof. Media m	Prof. máx. m	Perím. km	A km ²	V m ³ x10 ⁶
Alchichica	1733	38.55	64.0	5.06	1.81	69.92
Atexcac	780	25.72	39.0	2.18	0.29	6.15
La Preciosa	1344	30.72	45.0	3.85	0.78	16.20
Quechulac	983	21.71	40.0	3.04	0.50	10.97
Aljojuca	871	26.28	50.0	2.53	0.49	11.67
Tecuitlapa	750	1.36	2.5	2.38	0.26	0.35

La composición geológica de casi todos los conos comprende materiales como tezontle, pómez, andesitas y depósitos cineríticos y piroclásticos, así como basalto (Reyes, 1979). La excepción es el cono de Atexcac, una de cuyas paredes está formada por calizas de origen mesozoico y las restantes paredes por materiales volcánicos (Gasca, 1981).

Desde el punto de vista biológico la importancia principal de los lagos radica en la presencia de diferentes especies de vertebrados endémicos: aterínidos y un ambistómido (Alvarez, 1950; Brandon et al, 1981; De Buen, 1945; Taylor, 1973).

Cada uno de los axalapazcos puede ser considerado como un ecosistema en diferente grado de complejidad (Alcocer y Escobar, 1990), establecido por la concentración salina, como lo menciona Williams (1972).

Con base en lo anterior, el estudio comparado de éstos permite contribuir al entendimiento del funcionamiento de un ecosistema *in toto*, aproximación denominada macroscópica por Margalef (1978).

MATERIAL Y METODOS

Se realizaron muestreos estacionales (otoño-otoño) en 15 sitios establecidos en la zona litoral de los seis lagos-cráter: 5 en Alchichica, 3 en La Preciosa y Aljojuca y una en Atexcac, Quechulac y Tecuítlapa. El número de estaciones se determinó de acuerdo a la diversidad de hábitat de cada lago.

En cada sitio de muestreo se midieron electrométricamente oxígeno disuelto, temperatura, pH y salinidad. Para el análisis textural del sedimento se siguieron los criterios de Folk (1969). El contenido de carbonatos y materia orgánica se determinó como pérdida en combustión (LOI) de acuerdo a APHA et al. (1985) y la cobertura vegetal se estimó por observación directa.

TABLA I. LISTA TAXONOMICA DE LOS ORGANISMOS BENTONICOS COLECTADOS EN LOS AXALAPAZCOS DE MEXICO.

NEMATODA	CURCULIONIDAE
ANNELIDA	DYTISCIDAE
OLIGOCHAETA	<i>Hydroporus</i>
TUBIFICIDAE	<i>Laccodytes</i> (?)
HIRUDINEA	DIPTERA
ARTHROPODA	CULICIDAE
CRUSTACEA	<i>Culex</i>
AMPHIPODA	STRATIOMYDAE
TALITRIDAE	<i>Stratiomys</i>
<i>Hyaella azteca</i>	EPHYDRIDAE
DECAPODA	<i>Ephydra packardii</i> (?)
CAMBARIDAE	CHIRONOMIDAE: CHIRONOMINAE
<i>Cambarellus</i>	<i>Apedilum elachistus</i>
INSECTA	<i>Dicrotendipes neomodestus</i>
EPHEMEROPTERA	<i>Dicrotendipes</i> sp1
BAETIDAE	<i>Dicrotendipes</i> sp2
<i>Callibaetis montanus</i>	<i>Chironomus stigmaterus</i>
<i>Callibaetis pictus</i> (?)	<i>Chironomus</i> sp1
ODONATA	<i>Chironomus</i> sp2
COENAGRIIDAE	<i>Cryptochironomus</i> sp fulvus gr
<i>Enallagma praevarum</i>	<i>Stictochironomus</i>
<i>Ischnura</i> (?)	<i>Parachironomus tenuicaudatus</i>
AESHNIDAE	<i>Cladotanytarsus viridiventris</i>
<i>Aeshna</i>	<i>Paratanytarsus</i>
COLLEMBOLA	<i>Endotribelos hesperium</i>
ISOTOMIDAE	CHIRONOMIDAE: TANYPODINAE
HEMIPTERA	<i>Tanytus</i> (Apelopia)
NOTONECTIDAE	<i>Procladius</i> (Holotanytus)
<i>Notonecta</i>	<i>Procladius</i> (Psilotanytus)
<i>Buenoa</i>	<i>Tanytarsus</i>
NAUCORIDAE	<i>Micropsectra</i> sp1
<i>Ambrysus</i>	<i>Micropsectra</i> sp2
CORIXIDAE	<i>Paramerina smithae</i>
<i>Krizousacorixa</i>	<i>Labrundinia pilosella</i>
TRICHOPTERA	CHIRONOMIDAE: ORTHOCLADIINAE
LEPTOCERIDAE	<i>Psectrocladius</i>
<i>Setodes</i>	<i>Cricotopus</i> (Isocladius) triannulatus
LIMNephilidae	<i>Cricotopus</i> sp silvestris gr
<i>Grensia</i>	<i>Cricotopus</i> sp1
HYDROPTILIDAE	<i>Paralimnophyes</i>
<i>Oxyethira</i>	<i>Limnophyes</i>
POLYCENTROPODIDAE	<i>Corynoneura</i>
<i>Polycentropus</i>	<i>Bryophaenocladus</i>
COLEOPTERA	MOLLUSCA
HYDROPHILIDAE	GASTROPODA
<i>Tropisternus</i>	BASOMMATOPHORA
<i>Berosus</i>	PLANORBIDAE
STAPHYLINIDAE	<i>Helisoma</i>
<i>Stenus</i>	PHYSIDAE
CHRYSOMELIDAE	<i>Physa</i>
<i>Donacia</i>	

Los macroinvertebrados bentónicos se recolectaron con ayuda de una draga Ekman (225cm²) por triplicado para cada estación, tamizado a través de una malla de 0.59mm y fijados con formalina al 10% con rosa de Bengala.

Con el objetivo de obtener el ordenamiento de las estaciones muestradas de los axalapazcos y poder compararlas biológica, física y químicamente, se llevaron a cabo tres análisis de componentes principales (ACP). El primero incluyó las variables ambientales, el segundo las variables biológicas y, por último, un ACP global que combinó ambos tipos de variables.

RESULTADOS

En los axalapazcos se han identificado, al momento, a diferentes niveles desde phylum hasta especie, un total de sesenta tipos de macroinvertebrados bentónicos (Tabla I). Todos ellos ubicados en cuatro phyla: nemátodos, anélidos, artrópodos y moluscos, los cuales fueron subdivididos en diecisiete grupos taxonómicos para su análisis global (Tabla II).

TABLA II. ABUNDANCIAS RELATIVAS DE LOS PRINCIPALES TAXA EN LOS AXALAPAZCOS MEXICANOS. ALChichica, ATExcac, LA Preciosa, QUEchulac, ALJojuca y TECuitlapa. Ausente (), rara (+), frecuente (++), abundante (+++) y muy abundante (++++).

TAXA/ ESTACION	ALC 1	ALC 2	ALC 3	ALC 4	ALC 5	ATE 1	LAP 1	LAP 2	LAP 3	QUE 1	ALJ 1	ALJ 2	ALJ 3	TEC 1
NEMATODA			+	+	+				+					+
TUBIFICIDAE	++++	++++	++++	++	++++	++++	++++	++++	++++	+++	++++	++++	++++	+++
HIRUDINEA	+++	+++	+	+	+++	++	++	++	+++	+++				++
AMPHIPODA	+++	+++	+	+	++++	++++	+++	+++	+++	++++	+++	+++	+++	+++
DECAPODA							++	++	++	++	++		++	
EPHEMEROPTERA			+	+	+	+	+	+	++	+	+			+
ODONATA	+		+++	+	+++	+	+	+	++	+	+			++
NOTONECTIDAE	+						+	+	+					
NAUCORIDAE				+	+									+
CORIXIDAE	++	+	++	+	++	+	+	+	+					++
TRICHOPTERA	+	+	+	+	+	+								
COLEOPTERA			++	+	+		+	+	+		+	+		+
CULICIDAE			+	+										
CHIRONOMIDAE	++	++	+++	+	++	+++	++++	+++	++	++	++++	++++	+++	+++
STRATIOMYDAE														+
EPHYDRIDAE				+										
GASTROPODA			+		++		+	+		+	+	+		

Los quironómidos destacan por su diversidad taxonómica, siguiéndoles en importancia los tricópteros y coleópteros. Es necesario aclarar que, por su elevada abundancia, los anélidos tubificidos e hirudíneos seguramente contribuirán a aumentar en forma considerable la diversidad taxonómica una vez que sean debidamente identificados.

El axalapazco de Alchichica albergó el mayor porcentaje de los grupos taxonómicos establecidos con quince (88%) seguido de La Preciosa con doce (71%), Tecuitlapa con once (65%) y, finalmente, Atexcac, Quechulac y Aljojuca con ocho grupos (47%) cada uno (Tabla II).

Algunos grupos taxonómicos se presentaron en un solo axalapazco como fue el caso de los culícidos y efídridos en Alchichica y los estratiómidos en Tecuitlapa. Otros más se recolectaron exclusivamente en dos axalapazcos como los nemátodos y notonéctidos en Alchichica y La Preciosa, los naucóridos en Alchichica y Tecuitlapa y los tricópteros en Alchichica y Atexcac. Los demás grupos fueron en su mayoría comunes en por lo menos cinco de los axalapazcos.

Tubificidos, hirudíneos, anfípodos y quironómidos destacaron por su elevada abundancia y frecuencia de aparición en las estaciones de muestreo. Los decápodos se encontraron en tres de los axalapazcos. Los odonatos fueron abundantes solamente en Alchichica. Notonéctidos y corixidos fueron raros, sin embargo esto se debió al arte de muestreo que no fue adecuado para capturarlos.

En tres de los axalapazcos se estableció más de una estación de muestreo: cinco en Alchichica y tres en Aljojuca y La Preciosa. De éstos, solamente Alchichica presentó una diferencia apreciable en la abundancia y tipo de organismos en cada estación, los otros dos axalapazcos mostraron una elevada similitud entre los sitios de muestreo.

Cada una de las estaciones de muestreo fue caracterizada ambientalmente (Tabla III). En general, los axalapazcos son cuerpos acuáticos templados, bien oxigenados y de pH básico.

En cuanto a su contenido salino los axalapazcos se pueden dividir en dos grupos: los salinos, representados por Alchichica ($6.0-7.4 \text{ gL}^{-1}$) y Atexcac (6.0 gL^{-1}), y los dulceacuícolas cuya salinidad osciló entre 0.1 y 1.0 gL^{-1} , intervalo por debajo del nivel de 3 gL^{-1} establecido por Williams (1964) para delimitar los lagos salinos.

TABLA III. CARACTERISTICAS AMBIENTALES DE LOS AXALAPAZCOS MEXICANOS. ALChihica, ATExcac, LA Preciosa, QUEchulac, ALJojuca y TECuitlapa. Valores en: pH (unidades de pH), oxígeno disuelto (mg/L), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad (gL^{-1}); materia orgánica (%), carbonatos (%) y textura sedimentaria (ϕ) y vegetación acuática (% de cobertura. La desviación estándar se indica en el renglón inferior de la media.

PARAMETRO/ ESTACION	ALC 1	ALC 2	ALC 3	ALC 4	ALC 5	ATE 1	LAP 1	LAP 2	LAP 3	QUE 1	ALJ 1	ALJ 2	ALJ 3	TEC 1
pH	9.0 0.1	9.0 0.1	9.0 0.1	8.9 0.1	9.0 0.1	8.4 0.2	9.0 0.2	9.0 0.1	9.2 0.3	8.9 0.2	9.1 0.2	9.1 0.2	9.1 0.2	9.8 0.1
OXIGENO DISUELTO	7.3 1.1	6.5 1.2	6.5 1.6	12.3 1.9	9.1 2.5	6.9 1.5	6.8 1.0	10.2 2.6	8.7 1.1	5.9 1.8	6.4 2.7	5.7 2.7	4.9 2.3	9.3 2.8
TEMPERATURA	20.4 0.7	18.3 4.0	20.0 1.3	24.9 1.3	19.9 1.7	20.2 1.5	18.9 1.5	22.3 2.2	21.7 1.9	17.5 2.0	21.4 2.0	21.1 3.1	20.8 2.2	21.1 0.8
SALINIDAD	7.2 0.1	7.2 0.0	7.4 0.4	6.0 2.9	7.1 0.3	6.0 0.0	1.0 0.0	1.0 0.0	1.0 0.0	0.1 0.1	0.1 0.1	0.5 0.1	0.4 0.2	1.0 0.0
MATERIA ORGANICA	5.6 2.9	5.0 2.6	2.8 1.9	8.4 6.2	6.4 4.3	3.6 3.6	9.4 4.7	8.2 2.6	13.6 3.5	2.8 0.8	1.5 0.2	1.9 0.4	2.3 1.1	7.8 0.4
CARBONATOS	1.9 0.2	3.2 0.8	3.7 1.1	29.0 1.9	18.3 4.5	4.2 0.9	5.1 5.5	9.0 4.9	21.1 1.9	0.7 0.5	0.1 0.1	0.5 0.4	2.7 0.5	4.4 1.6
TEXTURA DEL SEDIMENTO	0.2	1.6	1.3	2.3	1.7	1.1	0.1	1.8	2.6	0.2	0.3	1.0	-0.1	2.2
MACROFITAS EMERGENTES	0	0	0	0	0	50	25	50	0	100	0	25	0	0
MACROFITAS SUMERGIDAS	25	0	0	100	75	75	0	50	75	0	25	0	0	100
ALGAS BENTONICAS	0	0	0	0	25	25	75	25	25	25	50	75	25	0

Los sedimentos, aunque superficialmente finos, son predominantemente gruesos (arenas y gravas), con un contenido de materia orgánica y carbonatos de bajo a elevado. El sustrato fluctuó entre desnudo y completamente cubierto por vegetación acuática. Se presentan macrofitas enraizadas emergentes *Scirpus californicus*, *Typha domingensis* y *Juncus andicola*, enraizadas sumergidas *Ruppia maritima* y *Potamogeton pectinatum* (Ramírez-García y Vázquez-Gutiérrez, 1989) y algas epilíticas (principalmente diatomeas). Los géneros anteriores han sido reconocidos por Hammer y Haseltine (1988) como macrofitas resistentes a elevados valores de salinidad.

Hammer et al. (1990) determinaron "organismos característicos" para diferentes intervalos de salinidad. *Gammarus*, *Glyptotendipes* y *Chironomus plumosus* son comunes entre 3 y 10 gL^{-1} , concentraciones que presentaron Alchichica y Atexcac, de éstos solo *Chironomus* fue encontrado, sin embargo no puede afirmarse que sea de esa especie.

Hyalella y *Enallagma* son ubicados por los mismos autores en el intervalo $10-38 \text{ gL}^{-1}$, géneros muestreados en ambos axalapazcos, especialmente el primero que fue muy abundante a pesar de que la salinidad fue menor, lo que coincidió con Bayly (1972 en Galat et al., 1988) quien caracteriza a *Hyalella azteca* como un organismo esencialmente dulceacuícola con tolerancia a la salinidad. Otros géneros que fueron determinados en los axalapazcos, característicos de salinidades superiores a 38 gL^{-1}

fueron *Cricotopus* y *Ephydra*, aunque en cantidades reducidas, especialmente el efídrido que se colectó solamente en la estación cuatro de Alchichica.

Odonatos, culícidos, corixidos y notonéctidos, representantes de ambientes dulceacuícolas o de bajas concentraciones salinas de acuerdo a Geddes et al. (1981), se presentaron en los axalapazcos. Los odonatos fueron especialmente abundantes en Alchichica, el más salino de los estudiados.

Independientemente del estado trófico del lago, los invertebrados pueden catalogarse en cuatro grupos (Williams, 1981). Los halobiontes (50 a >100 g/L^{-1}), y los halofílicos (10 - 60 g/L^{-1}) no se encontraron en los sitios muestreados, no así las formas dulceacuícolas tolerantes a la salinidad (corixidos y odonatos) y las no tolerantes a la salinidad (*Chaoborus*).

Los oligoquetos no pueden soportar la salinidad y se ven desplazados por otros organismos (Timms, 1981), factor que no pareció ser limitante en los axalapazcos como lo demostró su elevada abundancia en todo el intervalo de concentración salina determinado.

Con relación al ordenamiento de las estaciones de muestreo, el ACP ambiental (Graf. 1) mostró una separación sobre el componente dos entre los axalapazcos salinos y los dulceacuícolas. De este conjunto, las estaciones cuatro y cinco de Alchichica se separaron del resto por su ligeramente menor salinidad y la presencia de macrofitas enraizadas sumergidas. Quechulac, Aljojuca y la estación uno de La Preciosa se asociaron por la presencia de abundantes macrofitas enraizadas emergentes, separándose del resto de las estaciones de La Preciosa con mayor contenido de oxígeno disuelto, carbonatos, sedimento fino y, al igual que las estaciones cuatro y cinco de Alchichica, por la presencia de macrofitas enraizadas sumergidas.

La vegetación acuática, que proporciona una heterogeneidad de hábitats favoreciendo el establecimiento de una diversa fauna bentónica (Beattie, 1982; Harman, 1972), y la salinidad, que establece la problemática de regulación osmótica disminuyendo la diversidad biológica (Williams et al., 1990), representan los dos parámetros ambientales más importantes para el ordenamiento de los axalapazcos.

Con base en las variables biológicas (Graf. 2) se conformó un cúmulo que incluyó a la mayoría de las estaciones de muestreo. Este hecho fue asociado a la presencia de tipos taxonómicos comunes en los axalapazcos. Las excepciones fueron las estaciones cuatro y cinco de Alchichica y Tecuitlapa. Las tres estaciones se separaron por poseer grupos exclusivos, como sucedió con los naucóridos. La diferenciación de Tecuitlapa de las estaciones de Alchichica se debió a la existencia de estratiómidos en el primero; las segundas se diferenciaron entre sí por la ausencia de efídridos en la estación cinco.

A pesar de las diferencias ambientales detectadas en el ACP anterior, los tipos biológicos encontrados en los axalapazcos fueron, en su gran mayoría, comunes. Por lo anterior, el ordenamiento biológico fue determinado por los

Gráfica 1. ACP Variables ambientales

Gráfica 2. ACP Variables Biológicas

tipos raros o exclusivos, de baja abundancia y frecuencia.

En el ACP global (Graf. 3) Tecuitlapa se separó del resto de los axalapazcos por su mayor valor de pH y la presencia de estratiómidos. Aljojuca, Quechulac y, en menor medida, la estación uno de La Preciosa, se reunieron por poseer abundante vegetación emergente y la presencia de cambáridos. Sobre el componente dos, Alchichica y Atexcac se diferenciaron del resto de los lagos por su mayor salinidad. Las estaciones cuatro y cinco de Alchichica se separaron del grupo anterior por su mayor concentración de oxígeno disuelto y elevado porcentaje de carbonatos, por la abundancia de vegetación sumergida y la presencia de culicidos.

Una vez más, la importancia de la salinidad, la vegetación acuática y los tipos exclusivos se reflejaron en el ordenamiento global de los axalapazcos. Este análisis corroboró lo obtenido en los dos análisis anteriores. Las tres estaciones de Aljojuca fueron muy similares entre sí y se asociaron con Quechulac. Las estaciones uno, dos y tres de Alchichica, parecidas entre sí, lo hicieron con Atexcac. Las estaciones dos y tres de La Preciosa se asociaron, de forma ambiental más que biológicamente, con Tecuitlapa. La estación uno de La Preciosa se asoció a las otras dos estaciones del mismo axalapazco en cuanto a biología, y al conjunto Aljojuca-Quechulac, ambientalmente. Las estaciones

cuatro y cinco de Alchichica se separaron del resto y entre sí, tanto ambientalmente como biológicamente, siendo más parecidas una a la otra, que con el resto.

CONCLUSIONES

Los macroinvertebrados bentónicos de los axalapazcos mexicanos pertenecieron a cuatro phylla: anélidos, nemátodos, artrópodos y moluscos. De estos, los organismos dominantes por su abundancia fueron oligoquetos tubificidos, hirudíneos, anfípodos talitridos y quironómidos. A pesar de las diferencias ambientales de cada axalapazco, esencialmente en salinidad y vegetación acuática, presentaron una biota común. Pocos grupos taxonómicos fueron exclusivos de uno o dos axalapazcos, sin embargo propiciaron la separación de estos en el ordenamiento a través del ACP biológico. El ordenamiento global de las estaciones de muestreo confirmó lo establecido por los ACPs ambiental y biológico, permitiendo el conformar grupos de estaciones con características similares: Aljojuca con Quechulac, parte de Alchichica con Atexcac y parte de La Preciosa con Tecuitlapa. La estación uno de La Preciosa se asemejó a las otras dos del mismo axalapazco y al conjunto Aljojuca-Quechulac, mientras que las estaciones cuatro y cinco de Alchichica se comportaron de manera muy diferente a las demás y entre sí.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al CONACyT (proyectos P-220CCOR88069 y 0956-N9111) y a la ENEP Iztacala, UNAM, quienes parcialmente apoyaron económicamente esta investigación. Un agradecimiento especial se extiende a los Drs. Bohdan Bilyj (Chironomidae), David B. Herbst (Ephydriidae), Ken J. Tennessen (Odonata) y Robert D. Waltz (Baetidae) por su ayuda en la identificación de organismos. Por su apoyo en el trabajo de campo y laboratorio, se reconoce la invaluable ayuda de M. Chávez, Y. Molina y J.C. Tavera y al Dr. F. Rivera (ENEP-I) por su constante apoyo.

BIBLIOGRAFIA

- Alcocer, J. y E. Escobar. 1990. The drying up of the Mexican Plateau axalapazcos. Salinet 4: 34-36.
- Alvarez, J. 1950. Contribución al conocimiento de los peces de la Región de los Llanos, estado de Puebla (México). An. Esc. nac. Cienc. biol., Méx. 6(1-4): 81-107.
- Arredondo-Figueroa, J.L., Borrego-Enríquez, L.E., Castillo-Domínguez, R.M. y Valladolid-Guerrero, M.A. 1983. Batimetría y morfometría de los lagos "maars" de la cuenca de Oriental, Puebla, México. Biótica 8(1): 37-47.
- APHA, AWWA y WPCF. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Nueva York. 1193pp.
- Beattie, D.M. 1982. Distribution and production of the larval chironomid population in Tjeukemeer. Hydrobiologia 95: 287-306.
- Brandon, R.A., E.J. Maruska y W.T. Rumph. 1981. A new species of neotenic *Ambystoma* (Amphibia, Caudata) endemic to Laguna Alchichica, Puebla, Mexico. Bull. Southern California Acad. Sci. 3: 112-125.
- De Buen, F. 1945. Investigaciones sobre ictiología mexicana. I. Atherinidae de aguas continentales de México. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. Méx. 16: 475-532.
- Folk, R.L. 1969. Petrología de rocas sedimentarias. UNAM. México. 405pp.
- Galat, D.L., M. Coleman y R. Robinson. 1988. Experimental effects of elevated salinity on three benthic invertebrates in Pyramid Lake, Nevada. Hydrobiologia 158: 133-144.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). E. García. México. 217pp.
- Gasca, D.A. 1981. Algunas notas de la génesis de los lagos-cráter de la Cuenca de Oriental, Puebla-Tlaxcala-Veracruz. Colección Científica Prehistoria No. 98. Inst. Nal. Antrop. Hist. de México, México.
- Geddes, M.C., P. De Deckker, W.D. Williams, D.W. Morton y M. Topping. 1981. On the chemistry and biota of some saline lakes in western Australia. Hydrobiologia 81/82: 201-222.
- Hammer, U.T. y J.M. Haseltine. 1988. Aquatic macrophytes in saline lakes of the Canadian prairies. Hydrobiologia 158: 101-116.
- Hammer, U.T., J.S. Sheard y J. Kranabetter. 1990. Distribution and abundance of littoral benthic fauna in Canadian prairie saline lakes. Hydrobiologia 197: 173-192.
- Harman, W.N. 1972. Benthic substrates: their effect on fresh-water mollusca. Ecology 53: 271-277.
- Margalef, R. 1978. Perspectivas de la teoría ecológica. Blume. Barcelona. 110pp.
- Ramírez-García, P. y Novelo, A. 1984. La vegetación acuática vascular de seis lagos-cráter del estado de Puebla, México. Bol. Soc. Bot. Méx. 46: 75-88.
- Ramírez-García, P. y Vázquez-Gutiérrez, F. 1989. Contribuciones al estudio limnobotánico de la zona litoral de seis lagos cráter del estado de Puebla. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. Méx. 16: 1-16.
- Reyes, C.M. 1979. Geología de la Cuenca de Oriental, Estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala. Colección Científica Prehistoria. Inst. Nal. Antrop. Hist. México, México. 50pp.
- Taylor, E.H. 1943. A new ambystomid salamander adapted to brackish water. Copeia 3: 151-156.
- Timms, B.V. 1981. Animal communities in three Victorian lakes of different salinity. Hydrobiologia 81/82: 181-194.
- Williams, W.D. 1964. A contribution to lake typology in Victoria, Australia. Verh. int. Ver. Limnol. 15: 158-163.
- Williams, W.D. 1972. The uniqueness of salt lake ecosystems. In Kajak, Z. y A. Hillbricht-Ilkowska (eds.). Productivity problems of freshwaters. IBP-UNESCO. Polonia. 349-361.
- Williams, W.D. 1981. The limnology of saline lakes in Western Victoria: a review of some recent studies. Hydrobiologia 81/82: 233-260.
- Williams, W.D., A.J. Boulton y R.G. Taaffe. 1990. Salinity as a determinant of salt lake fauna: a question of scale. Hydrobiologia 197: 257-266.